



Ana Patrícia Ribeiro de Almeida Pires Martins

Licenciatura em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

A influência da manutenção industrial no Índice Global de Eficiência (OEE)

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
e Gestão Industrial

Orientador: Prof. Doutor José Mendonça Dias – Faculdade de Ciências e
Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

Co-Orientador: Eng.º Francisco José de Almeida Viegas Louro

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Virgílio António Cruz Machado

Arguente: Prof. Doutor José Augusto Silva Sobral

Vogal: Prof. Doutor José António Mendonça Dias



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho 2012

A influência da manutenção industrial no Índice Global de Eficiência (*OEE*)

© 2012 Ana Patrícia Ribeiro de Almeida Pires Martins

Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa

Copyright

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*À minha família e amigos
pelo apoio e compreensão*

*“Só aqueles que têm paciência para fazer coisas simples com perfeição,
é que irão adquirir habilidade para fazer coisas difíceis com facilidade”*

Johann Christoph Von Schiller

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de expressar os meus agradecimentos ao Professor Doutor José Mendonça Dias pelo seu interesse, dedicação, críticas e sugestões na orientação deste estudo.

À Direcção da Multiflow SA, por ter autorizado a realização do estágio curricular na organização.

Deixo também uma palavra de reconhecimento a todos os colaboradores do Departamento de Manutenção e Engenharia, e em particular ao Eng. Francisco Louro, orientador na organização, pela disponibilidade e apoio demonstrado ao longo do estágio e da realização deste trabalho.

Agradeço ainda à minha família pois, foi graças ao seu incentivo e compreensão que consegui alcançar todos os objectivos a que me propus.

Por último, quero agradecer a todos os meus amigos e colegas que me apoiaram, não só na elaboração deste projecto mas, ao longo de todo o meu percurso académico.

RESUMO

A manutenção desempenha um papel fundamental dentro de qualquer organização, revelando-se como um factor determinante para o sucesso da mesma. Tendo em conta a elevada competição entre as organizações, estas procuram maximizar a disponibilidade e fiabilidade dos recursos e equipamentos, para produzir a quantidade desejada de produtos, com as especificações de qualidade necessárias, no período de tempo estipulado.

No âmbito da manutenção, mais concretamente na área de fiabilidade, o desenvolvimento prático do estudo consistiu em aplicar modelos estatísticos a sistemas reparáveis, tendo como objectivo primordial a identificação dos equipamentos que contribuem de forma negativa para a fiabilidade da linha de produção.

Este estudo pode ser seccionado em três fases. Inicialmente avaliou-se de forma global o conjunto de paragens de produção dos vários equipamentos da linha de produção.

Numa segunda fase, avaliou-se o peso das falhas nas paragens de produção. Recorrendo ao Teste de *Laplace*, foi possível desenvolver uma análise estatística, de forma a compreender a tendência das falhas dos equipamentos em estudo.

Finalmente, recorreu-se à distribuição de *Weibull* de forma a modelar os tempos entre intervenções. Elaborou-se um plano de manutenção preventivo, ao equipamento crítico, o qual engloba o período de intervenção e as tarefas a executar.

Desta forma é expectável uma melhoria significativa do *OEE* (*Overall Equipment Effectiveness*) ao permitir aumentar a fiabilidade e a disponibilidade desses sistemas e, consequentemente, o desempenho e a qualidade.

A metodologia desenvolvida poderá ser aplicada à totalidade dos sistemas reparáveis da linha em estudo, bem como a outras linhas de produção.

Palavras-chave: Manutenção Preventiva; Sistema Reparável; Teste de *Laplace*; Distribuição de *Weibull*; *OEE*.

ABSTRACT

Maintenance plays a fundamental key in any organization, revealing itself as a determinant factor for any organization success. Regarding high competitiveness between organizations, they are looking to maximize availability and reliability resources and equipments, to produce the desired amount of products with quality specifications required, in the estimated deadline.

In maintenance, more particularly in the area of reliability, the study's practical development consisted of applying statistical models to repairable systems and the main goal is to identify equipments that contribute negatively to the reliability of the production line.

This study could be sectioned into three phases. Initially, in a global way, it was evaluated the production downtime of the production line equipments.

The second phase analyses the importance of failures into production downtime. Based on Laplace Test is possible to develop statistical analysis, in order to understand the tendency of failures.

Finally, was used Weibull distribution in order to model times between interventions. It was developed a preventive maintenance plan to the critical equipment, which comprehend the intervention period and the tasks to be performed.

It is expected a significant improvement from OEE (Overall Equipment Effectiveness) allowing to increase reliability and availability from those systems and, consequently, performance and quality.

The developed methodology can be applied to all repairable equipments of the line in study, as well as other production line.

Keywords: Preventive Maintenance; Repairable system; Laplace Test; Weibull Distribution; OEE (Overall Equipment Effectiveness).

ÍNDICE DE MATÉRIAS

Parte I – Fundamentos Teóricos	1
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Âmbito	1
1.2. Objectivos	2
1.3. Metodologia	2
1.4. Organização da Dissertação	3
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica	5
2.1. Manutenção	5
2.1.1. Evolução histórica da Manutenção	5
2.1.2. Gestão da Manutenção	7
2.1.3. Classificação da Manutenção	8
2.1.3.1. Manutenção preventiva	9
2.1.3.2. Manutenção correctiva	10
2.1.4. Metodologia RCM	10
2.1.5. Indicadores de desempenho	11
2.2. Fiabilidade: Estatística das falhas	12
2.2.1. Análise de sobrevivência	13
2.2.1.1. Dados censurados	14
2.2.2. Análise estatística das falhas	15
2.2.2.1. Função de Fiabilidade ou de Sobrevivência	16
2.2.2.2. Função Densidade de Probabilidade	16
2.2.2.3. Função de Risco	16
2.2.3. Métodos não paramétricos da estimativa da fiabilidade	17
2.3. Sistemas Reparáveis	18
2.3.1. Tendência dos dados	19
2.3.2. Teste de <i>Laplace</i>	20
2.3.3. Processos Estocásticos Pontuais – Processos de <i>Poisson</i>	21
2.3.3.1. Processos de <i>Poisson</i> Homogéneos (PPH)	21
2.3.3.2. Processos de Poisson não Homogéneos (PPNH)	22
2.3.3.2.1. Modelo de Crow	22

2.4. Distribuição de <i>Weibull</i>	23
2.4.1. Função densidade de probabilidade.....	23
2.4.2. Função de fiabilidade.....	24
2.4.3. Função de risco.....	24
2.5. <i>OEE</i>	25
Parte II – Desenvolvimentos práticos.....	31
Capítulo 3 – Apresentação do sistema em análise.....	31
3.1. Introdução.....	31
3.2. A empresa – Multiflow SA.....	31
3.2.1. História.....	32
3.2.2. Instalações.....	32
3.2.3. Certificação de Qualidade.....	33
3.3. Estrutura Organizacional.....	33
3.4. Processo produtivo.....	35
Capítulo 4 – Análise Estatística do Sistema Global.....	39
4.1. Introdução.....	39
4.2. Análise global do sistema.....	40
4.3. Análise global de paragens do sistema.....	42
4.3.1. Análise do número de paragens.....	43
4.3.2. Análise dos tempos de paragens.....	45
4.3.3. Análise das causas das paragens.....	47
4.4. Análise global de falhas do sistema.....	49
4.4.1. Análise do número de falhas.....	49
4.4.2. Análise do tempo de reparação das falhas.....	52
4.5. Análise estatística global de falhas do sistema.....	53
4.6. Análise da Disponibilidade do sistema.....	61
Capítulo 5 – Análise e modelação das falhas do equipamento crítico.....	63
5.1. Planeamento da manutenção preventiva.....	63
5.1.1. Com base na fiabilidade do equipamento crítico.....	63
5.1.1.1. Limite inferior de confiança.....	65
5.1.1.2. Limite superior de confiança.....	67

5.1.2. Com base na manutibilidade do equipamento crítico	69
5.1.2.1. Limite inferior de confiança	70
5.1.2.2. Limite superior de confiança	71
5.2. Plano de manutenção preventivo	74
5.2.1. Padrões de manutenção	74
5.2.2. Equipa de manutenção preventiva	74
5.2.3. Plano de manutenção preventiva ao equipamento crítico	74
Capítulo 6 – Análise do OEE da linha de produção	81
6.1. Definição do OEE da linha de produção	81
6.2. OEE previsto	85
Parte III – Conclusões finais	87
Capítulo 7 - Conclusões	87
7.1. Conclusões gerais	87
7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	88
Bibliografia	91
Anexos	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Modelo de um sistema de gestão de manutenção orientado por processos segundo a norma NP 4483:2008 (Adaptado de: (NP 4483 (2008))).	8
Figura 2.2: Classificação da manutenção segundo a norma EN 13306:2010 (Adaptado de: (EN 13306 (2010))).	9
Figura 2.3: Fiabilidade sob perspectiva matemática (Adaptado de: Todinov (2005)).	13
Figura 2.4: Representação esquemática de dados censurados (Adaptado de: Dias (2002)).	15
Figura 2.5: Curva da banheira (Adaptado de: Smith (2011)).	19
Figura 2.6: Distribuição Normal Reduzida (Adaptado de: Dias e Pereira (2005)).	20
Figura 2.7: Influência das Perdas no OEE.	28
Figura 3.1: Instalações da empresa Multiflow SA (Fonte: Multiflow SA).	33
Figura 3.2: Estrutura organizacional do departamento Manutenção e Engenharia (Fonte: Multiflow SA).	34
Figura 3.3: Fluxograma de processo para máquinas de injeção e de extrusão/sopro (Fonte: Multiflow SA).	36
Figura 3.4: Fluxograma do processo de enchimento (Fonte: Multiflow SA).	37
Figura 4.1: Fluxograma do processo de enchimento da L10 (Fonte: Multiflow SA).	41
Figura 4.2: Layout produtivo (Fonte: Multiflow SA).	42
Figura 4.3: Número de paragens da linha de produção no ano de 2010.	43
Figura 4.4: Paragens da linha de produção.	44
Figura 4.5: Diagrama de Pareto – N° de paragens.	45
Figura 4.6: Diagrama de Pareto – Tempo de paragens.	47
Figura 4.7: Causa das paragens dos vários equipamentos.	49
Figura 4.8: Número de falhas por mês.	50
Figura 4.9: Percentagem de falhas da linha de produção.	51
Figura 4.10: Diagrama de Pareto – N° de falhas.	51
Figura 4.11: Diagrama de Pareto - Tempo de reparação das falhas.	52
Figura 4.12: Representação gráfica do Teste de Laplace – L10.	54
Figura 4.13: Representação gráfica do Teste de Laplace – Agrupadora.	56
Figura 4.14: Representação gráfica do Teste de Laplace – Encartonadora.	57
Figura 4.15: Representação gráfica do Teste de Laplace – Posicionador de Frascos.	58
Figura 4.16: Representação gráfica do Teste de Laplace – Enchedora.	59
Figura 4.17: Representação gráfica do Teste de Laplace – Rotuladora.	60
Figura 5.1: Ajustamento, método não paramétrico do sistema Agrupadora (Fonte:.....)	65
Figura 5.2: Função cumulativa de distribuição R (t) [Weib, $\beta=1,19$; $\eta=9,28$] (Fonte:.....)	66
Figura 5.3: Função densidade de probabilidade f(t) [Weib, $\beta=1,192$; $\eta=9,28$] (Fonte:.....)	67
Figura 5.4: Função cumulativa de distribuição R (t) [Weib, $\beta=2,04$; $\eta=15,69$] (Fonte:.....)	68
Figura 5.5: Função densidade de probabilidade f(t) [Weib, $\beta=2,04$; $\eta=15,69$] (Fonte:.....)	69

Figura 5.6: Função cumulativa de distribuição $M(t)$ [Weib, $\beta=0,85$; $\eta=37,75$] (Fonte:.....	70
Figura 5.7: Função densidade de probabilidade $f(t)$ [Weib, $\beta=0,85$; $\eta=37,75$] (Fonte:	71
Figura 5.8: Função cumulativa de distribuição $M(t)$ [Weib, $\beta=1,18$; $\eta=60,44$] (Fonte:.....	72
Figura 5.9: Função densidade de probabilidade $f(t)$ [Weib, $\beta=1,18$; $\eta=60,44$] (Fonte:	73
Figura 5.10: Decomposição do tempo técnico de reparação.	73
Figura 5.11: Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva Semanal para o equipamento Agrupadora.....	7575
Figura 5.12: Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva Quinzenal para o equipamento Agrupadora.....	76
Figura 5.13: Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva Trimestral para o equipamento Agrupadora.....	77
Figura 5.14: Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva Semestral para o equipamento Agrupadora.....	78
Figura 5.15: Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva Anual para o equipamento Agrupadora.....	79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Metas de melhoria para as perdas (Adaptado de: Nakajima (1989)).	26
Tabela 2.2: Estratégias a adoptar para o aumento do <i>OEE</i> (Adaptado de: Silva (2009)).	28
Tabela 4.1: Tempos de paragem e tempos médios de paragem, dos vários equipamentos.	46
Tabela 4.2: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo da estatística de teste, do teste de <i>Laplace</i> da linha L10.	53
Tabela 4.3: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo da estatística de teste, do teste de <i>Laplace</i> – Agrupadora.	55
Tabela 4.4: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo da estatística de teste, do teste de <i>Laplace</i> – Encartonadora.	56
Tabela 4.5: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo da estatística de teste, do teste de <i>Laplace</i> – Posicionador de Frascos.	57
Tabela 4.6: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo da estatística de teste, do teste de <i>Laplace</i> – Enchedora.	58
Tabela 4.7: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo da estatística de teste, do teste de <i>Laplace</i> – Rotuladora.	59
Tabela 4.8: Resultado do teste de <i>Laplace</i> , MTBF e CMTBF.	60
Tabela 4.9: Cálculo da disponibilidade com base no MTBF/CMTBF e MTTR.	61
Tabela 5.1: Intervalo entre falhas do equipamento Agrupadora.	64
Tabela 5.2: Parâmetros de <i>Weibull</i> para um intervalo de confiança de 95%.	70
Tabela 5.3: Reparações da Agrupadora.	79
Tabela 5.4: Parâmetros de <i>Weibull</i> para um intervalo de confiança de 95%.	80
Tabela 6.1: Caracterização dos diferentes tipos de perdas da linha de produção.	81
Tabela 6.2: Caracterização dos diferentes tipos de perdas da linha de produção (continuação).	82
Tabela 6.3: Cálculo do Índice de Disponibilidade.	82
Tabela 6.4: Cálculo do Índice de Disponibilidade em termos de manutenção.	83
Tabela 6.5: Cálculo do Índice de Desempenho.	83
Tabela 6.6: Cálculo do Índice de Qualidade.	84
Tabela 6.7: Cálculo do Indicador <i>OEE</i> .	84
Tabela 6.8: Cálculo do Índice de Disponibilidade previsto, em termos de manutenção.	85

ACRÓNIMOS

CMTBF	<i>Cumulative Mean Time Between Failures</i>	Tempo Cumulativo Médio Entre Falhas
MBO	<i>Management Buy Out</i>	
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>	Tempo Médio Entre Falhas
\widehat{MTBF}		<i>MTBF</i> esperado após aplicação do programa de manutenção preventiva.
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>	Tempo Médio Para Reparação
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>	Eficácia global dos equipamentos
PPH	<i>Homogeneous Poisson Process</i>	Processo de <i>Poisson</i> Homogéneo
PPNH	<i>Non-Homogeneous Poisson Process</i>	Processo de <i>Poisson</i> Não Homogéneo
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>	Manutenção Centrada na Fiabilidade
ROCOF	<i>Rate of Occurrence of Failures</i>	
SR		Sistema Reparável

SIMBOLOGIA

β – Parâmetro de forma

β^* – Parâmetro do modelo de *Crow*

$F(t)$ – Função distribuição cumulativa

$f(t)$ – Função densidade de probabilidade

$F(t; \beta, \eta)$ – Função distribuição cumulativa de *Weibull*

$f(t; \beta, \eta)$ – Função densidade de probabilidade de *Weibull*

$h(t)$ – Função de risco

$h(t; \beta, \eta)$ – Função de risco de *Weibull*

λ – Taxa de falhas constante – Processo de *Poisson* Homogêneo

λ_0 – Taxa de falhas

λ^* – Parâmetro do modelo de *Crow*

n_f – Número de falhas

η – Parâmetro de escala ou vida característica

$R(t)$ – Função fiabilidade ou sobrevivência

$R(t; \beta, \eta)$ – Função fiabilidade ou sobrevivência de *Weibull*

$\rho(t)$ – Taxa de falhas – Processo de *Poisson* Não Homogêneo

$\rho(\tau)$ – Taxa de falhas – Modelo de *Crow*

T – Tempo do período em estudo

t – Tempo desde a falha anterior

τ – Tempo de vida do sistema no momento da falha

\tilde{t} – Tempo de um intervalo censurado

t_0 – Parâmetro de localização ou vida mínima

$z_{\alpha/2}$ – Valor Crítico do Teste de *Laplace*

z_0 – Estatística de Teste de *Laplace*

PARTE I – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Capítulo 1 – Introdução

- 1.1. Âmbito
- 1.2. Objectivos
- 1.3. Metodologia
- 1.4. Organização da Dissertação

1.1. Âmbito

A realização da dissertação de Mestrado decorreu na empresa Multiflow SA, no departamento de Engenharia e Manutenção.

Este estágio permitiu o contacto directo com a realidade de uma unidade industrial de fabrico e embalamento de produtos líquidos de higiene pessoal, limpeza doméstica e Industrial. Desta forma foi possível compreender as dificuldades e pressões presentes em ambientes industriais associadas às exigências impostas pelos mercados.

Surgiu, assim, o interesse em realizar um estudo de fiabilidade a uma determinada linha de produção. Esta análise permite a identificação das causas que contribuem para a redução da fiabilidade, sendo posteriormente possível identificar as melhorias a efectuar ao sistema.

O âmbito deste estudo baseia-se nos registos de produção e de manutenção que têm como suporte todas as ocorrências que resultaram em paragens de produção.

Com a análise destes dados pretende-se identificar os equipamentos que contribuem de forma pejorativa para a fiabilidade, apresentando-se um plano de manutenção preventivo de modo a aumentar a eficiência do sistema em análise.

1.2.Objectivos

O objectivo central do presente estudo compreende a realização de uma análise estatística das falhas da linha de produção em estudo. Desta forma, pretende-se identificar e avaliar os sistemas mais críticos do ponto de vista da fiabilidade e da função de risco.

Este projecto consiste também no desenvolvimento de um plano de manutenção preventivo eficaz para o sistema que apresente um maior nível de criticidade. Pretende-se assim diminuir os tempos de paragem por falha, permitindo que os equipamentos se encontrem operacionais sempre que forem requisitados para desempenhar a sua função.

É ainda expectável uma melhoria significativa do *OEE* ao permitir um aumento da fiabilidade e a disponibilidade do sistema e, consequentemente, o desempenho e a qualidade.

1.3.Metodologia

A metodologia adoptada tem como base a combinação dos conceitos de fiabilidade e gestão da manutenção, de forma a atingir os objectivos descritos anteriormente.

Numa primeira fase escolheu-se o tema a ser abordado na dissertação e definiram-se os objectivos a atingir.

Iniciou-se o estudo com uma revisão bibliográfica relacionada com o tema, a qual envolveu a consulta de livros, artigos da especialidade, dissertações de mestrado, projectos de final de curso e *sites* da Internet.

Em seguida foi analisada a organização. Efectuou-se a recolha dos dados para posterior análise e demonstração de resultados. O estudo prático consta na análise, no âmbito geral, das paragens da linha de produção constituída por 16 equipamentos. Considerou-se um período de tempo decorrido entre 31 de Dezembro de 2009 e 31 de Dezembro de 2010 para o estudo da eficiência das máquinas.

Nesta fase, foi realizada uma análise global ao conjunto de paragens de produção do sistema. De seguida, avaliou-se o peso das falhas nas paragens de produção.

Com o recurso ao Teste de *Laplace* foi possível desenvolver uma análise estatística, de forma a compreender a tendência das falhas dos equipamentos em estudo. Obtiveram-se também indicadores de desempenho como o *MTBF*. Foi ainda possível identificar qual o equipamento que contribui de forma negativa para a fiabilidade do sistema.

Posteriormente, fez-se a modelação dos tempos entre intervenções de manutenção preventiva, recorrendo-se à distribuição de *Weibull*. Elaborou-se um plano de manutenção preventivo ao

equipamento crítico, o qual engloba o período de intervenção e as tarefas a executar. O aumento da fiabilidade e disponibilidade do sistema permitiu uma melhoria significativa do *OEE*.

Finalmente, para a elaboração deste documento utilizou-se uma formatação pré-estabelecida, contendo a revisão bibliográfica, o estudo de caso e as conclusões.

1.4. Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos, que estão inseridos em três partes fundamentais, com o intuito de facilitar a consulta.

A **Parte I**, designada por **Fundamentos Teóricos**, envolve os Capítulos 1 e 2. O **Capítulo 1 – Introdução**, apresenta de uma forma geral o trabalho desenvolvido na dissertação, onde são descritos os objectivos que se ambicionam alcançar, bem como a metodologia a aplicar para atingir esses objectivos. É ainda descrita a estrutura e organização do documento. No **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica** expõe-se a pesquisa bibliográfica que suporta teoricamente o trabalho realizado. Neste capítulo explica-se a importância e função da gestão da manutenção, tal como a caracterização e utilidade da fiabilidade e os seus componentes práticos relativamente a sistemas reparáveis. Caracteriza-se a distribuição de *Weibull*, uma vez que esta se revela bastante útil no estudo da fiabilidade. Aborda-se ainda o *OEE*, uma vez que este está directamente relacionado com o estudo da fiabilidade e disponibilidade do sistema.

A **Parte II**, designada por **Desenvolvimentos Práticos**, envolve os Capítulos 3, 4, 5 e 6. O **Capítulo 3 – Apresentação do sistema em análise** descreve a organização no qual foi desenvolvido o estudo prático, assim como a sua estrutura hierárquica. Explica-se ainda o funcionamento do processo produtivo. No **Capítulo 4 – Análise Estatística do Sistema Global** explica-se o funcionamento da linha de produção em análise, assim como os sistemas que a compõem. Realiza-se uma análise estatística aos equipamentos, analisando e avaliando o sistema que apresenta maior criticidade. No **Capítulo 5 – Análise e modelação das falhas do equipamento crítico** elabora-se um plano de manutenção preventivo ao equipamento com maior grau de criticidade, o qual engloba o período de intervenção e as tarefas a executar. Finalmente no **Capítulo 6 – Análise do *OEE* da linha de produção** é feito um estudo ao *OEE* da linha. Prevê-se ainda qual a *OEE* a atingir após as medidas de melhoria aplicadas.

A **Parte III**, designada por **Conclusões Finais**, é constituída pelo **Capítulo 7 – Conclusões**, onde se apresentam as conclusões gerais da dissertação e onde são propostas algumas recomendações que visam uma perspectiva de melhoria contínua no âmbito da organização. Propõem-se ainda possíveis temas a desenvolver em trabalhos futuros.

Os **Anexos** contêm as informações complementares ao estudo realizado.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

2.1. Manutenção

2.2. Fiabilidade: Estatística das falhas

2.3. Sistemas reparáveis

2.4. Distribuição de *Weibull*

2.5. OEE

2.1. Manutenção

Tradicionalmente, a manutenção com as suas actividades multifacetadas, recursos, medição e gestão tem sido importante para organizações de fabrico. No entanto, nos últimos anos, a necessidade de gerir as diferentes vertentes da manutenção, de forma mais eficaz, ganhou importância acrescida devido à evolução das tecnologias operacionais bem como o papel de mudança organizacional da manutenção (Simões *et al.*, 2011).

Durante a última metade do século o papel da manutenção tem evoluído consideravelmente. A manutenção deixou de ser apenas uma parte inevitável da produção, passando a ser um elemento essencial para alcançar os objectivos estratégicos de negócio de uma organização, tornando-se como um parceiro interno ou externo para o sucesso (Kobbacy e Murthy, 2008).

De acordo com a Norma Europeia EN 13306:2010, a manutenção define-se como a combinação de todas as acções técnicas, administrativas e de gestão, que durante o ciclo de vida de um determinado componente, se destinam a mantê-lo ou a restaurá-lo para um estado onde possa executar a função desejada (EN 13306 (2010)).

2.1.1. Evolução histórica da Manutenção

Há aproximadamente três décadas, as empresas perceberam que para controlar a manutenção seria necessário incluí-la no esquema geral da organização, integrando-a com outras funções. Ao alcançar esse objectivo, a manutenção passou a ter um papel importante e a ser

desenvolvida como mais uma função da organização, a qual gera "produtos" de forma a satisfazer os clientes internos, contribuindo para o cumprimento dos objectivos da organização (Márquez *et al.*, 2009).

O início da engenharia de manutenção moderna está relacionado com o desenvolvimento do motor a vapor de James Watt, em 1769, na Grã-Bretanha. Em 1882, nos Estados Unidos, a revista *Factory* teve um papel fundamental na evolução da manutenção. Mais tarde, em 1886 foi publicado um livro sobre a manutenção dos caminhos ferroviários (Dhillon, 2006).

Durante os anos 50 a maioria das acções de manutenção eram correctivas. A manutenção era considerada como um custo irritante e inevitável, que não podia ser gerida. Mais tarde, na década de 60, muitas empresas passaram a usufruir de programas de manutenção preventiva, os quais permitiam reconhecer quais as falhas de um determinado componente mecânico tinham uma relação directa com o tempo ou com o número de ciclos realizados. Essa teoria baseava-se principalmente no desgaste físico de componentes ou nas características relacionadas com a fadiga. Começou a aceitar-se que acções preventivas poderiam evitar algumas das falhas, o que levaria à redução de custos, a longo prazo (Kobbacy e Murthy, 2008).

No final dos anos 70 a maioria dos equipamentos tornaram-se mais complexos. Como resultado, o comportamento de falhas dos componentes começou a alterar as características de falha dos equipamentos. Assim, como o modo de falha não estava relacionado com a idade, as acções de manutenção preventiva eram limitadas na melhoria da fiabilidade dos equipamentos complexos. Desta forma, a eficácia da aplicação de acções de manutenção preventiva passou a ser questionada, passando a ser considerada com mais cuidado. Cresceu rapidamente uma preocupação sobre o excesso de manutenção. Foi ainda posta em causa os benefícios da manutenção preventiva, surgindo novas técnicas como a manutenção preditiva (inspecção baseado na condição). Esta técnica era utilizada apenas para aplicações de alto risco, tais como aviões ou centrais nucleares (Kobbacy e Murthy, 2008).

No final dos anos 80 observou-se uma nova etapa na história da manutenção com o aparecimento da engenharia simultânea ou engenharia de ciclo de vida. A manutenção começou a envolver-se na selecção e desenvolvimento de equipamentos, levando ao aparecimento de uma manutenção proactiva sob o princípio que se deve actuar nas fases iniciais do produto a fim de evitar consequências negativas futuras. Desta forma, a função de manutenção começou a torna-se útil o que fez com que as acções de manutenção proactiva comesçassem a desempenhar um papel predominante (Kobbacy e Murthy, 2008).

O termo de manutenção preventiva foi criado nos anos 50 e em 1957 foi publicado um manual sobre a engenharia de manutenção. Ao longo dos anos foram surgindo vários desenvolvimentos na área da engenharia da manutenção, sendo que hoje em dia muitas

universidades e outras instituições oferecem programas académicos relativos ao assunto (Dhillon, 2006).

Desta forma, o desafio de desenvolver um modelo ideal que conduzisse as actividades de manutenção tornou-se um tema de pesquisa e uma questão fundamental para alcançar a eficácia e a eficiência da gestão de manutenção (Márquez *et al.*, 2009).

2.1.2. Gestão da Manutenção

Tendo em conta a elevada competição, muitas organizações procuram sobreviver produzindo mais em períodos mais curtos de tempo, utilizando menos recursos. As instalações tornaram-se altamente automatizadas e muito complexas tecnologicamente, o que levou a que a gestão da manutenção tivesse de se tornar mais complexa, passando a lidar com o técnico superior e com as expectativas de negócios. Desta forma, o gestor de manutenção passou a ser confrontado com instalações muito complicadas e diversas, que operam num contexto de negócios extremamente exigente (Kobbacy e Murthy, 2008).

De acordo com a norma EN 13306:2010, a gestão da manutenção é definida pelo conjunto de actividades de gestão que determinam os objectivos da manutenção, estratégias e responsabilidades, de forma a implementá-las através de planeamento, controlo e melhoria das actividades de manutenção, incluindo aspectos económicos (EN 13306 (2010)).

De um ponto de vista pragmático, o objectivo da gestão da manutenção é a optimização total de recursos do ciclo de vida, ou seja, maximizar a disponibilidade e fiabilidade dos recursos e equipamentos para produzir a quantidade desejada de produtos, com as especificações de qualidade necessárias, no período de tempo estipulado (Kobbacy e Murthy, 2008).

Segundo a norma NP 4483:2008, a aplicação de um sistema de gestão da manutenção deve aumentar a satisfação do cliente, devendo incluir processos para melhoria contínua, requisitos do cliente e requisitos regulamentares aplicáveis. Este sistema, baseado em processos, segue uma abordagem *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), ou seja, Planear-Executar-Verificar-Actuar.

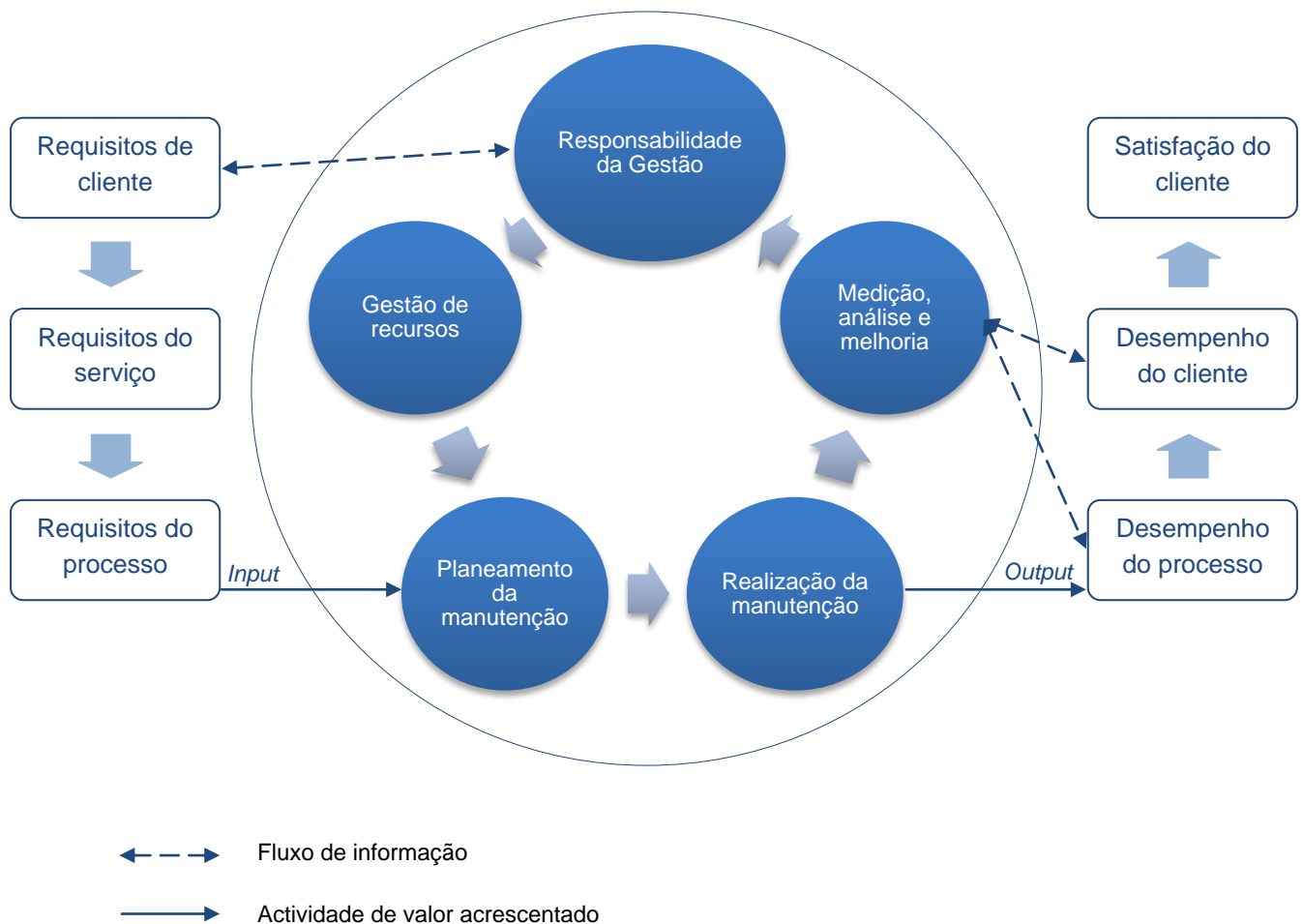


Figura 2.1: Modelo de um sistema de gestão de manutenção orientado por processos segundo a norma NP 4483:2008 (Adaptado de: (NP 4483 (2008))).

2.1.3. Classificação da Manutenção

Nos últimos anos, os gestores industriais têm compreendido que a manutenção pode ser uma função geradora de lucro e não apenas um centro de custo (Veldman *et al.*, 2011).

A manutenção de um determinado sistema pode ser feita de duas formas diferentes, através de prevenção ou de diagnóstico e reparação. Assim sendo, na indústria podem ser utilizados vários tipos e estratégias de manutenção, podendo as intervenções de manutenção serem de natureza correctiva ou preventiva (Assis, 2004).

De acordo com a norma EN 13306:2010, as diferentes classificações de manutenção podem ser qualificadas segundo a figura seguinte.

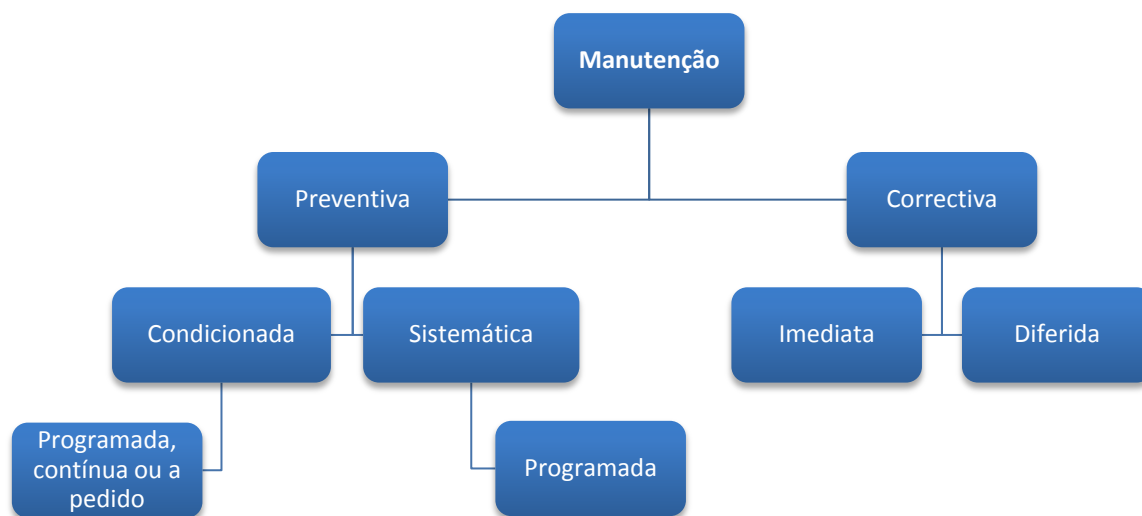


Figura 2.2: Classificação da manutenção segundo a norma EN 13306:2010 (Adaptado de: (EN 13306 (2010))).

2.1.3.1. Manutenção preventiva

Este tipo de manutenção consiste nas tarefas de manutenção realizadas em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios estabelecidos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um determinado componente (EN 13306 (2010)).

A manutenção preventiva pode ser dividida em dois grupos, manutenção sistemática ou manutenção condicionada (Márquez, 2007).

- **Manutenção Sistemática:** É uma manutenção preventiva realizada de acordo com intervalos fixos de tempo ou número de unidades em uso (EN 13306 (2010)). Trata-se assim de uma manutenção programada sem investigação prévia de condição do equipamento (Márquez, 2007).
- **Manutenção Condicionada:** É uma manutenção preventiva, que inclui uma combinação de condições de monitorização, inspecção, testes, análise e acções de manutenção consequentes. A aplicação desta manutenção é realizada através de uma previsão derivada da análise e avaliação dos parâmetros significativos de degradação do equipamento (EN 13306 (2010)). O desempenho e a monitorização dos parâmetros podem ser programados, contínuos ou pedidos (Márquez, 2007).

A manutenção preventiva abrange todas as medidas que contribuam para manter as condições normais de funcionamento de um determinado equipamento, podendo requerer a criação de planos de manutenção (Khazraei e Deuse, 2011).

2.1.3.2. Manutenção correctiva

Raramente, ou nunca, ocorre uma falha num período oportuno ou conveniente. Mesmo que as falhas não provoquem danos consideráveis ou lesões nos operadores, estas originam paragens, logo atrasos na produção e necessitam de reparações não programadas e inesperadas. Desta forma, este tipo de manutenção torna-se a mais dispendiosa para qualquer organização (Stephens, 2010).

A manutenção correctiva é efectuada quando se constata uma falha imprevisível de um determinado sistema. Quando se desenvolvem falhas, as quais se podem verificar de forma catastrófica, é efectuada manutenção correctiva de urgência devido à sua imprevisibilidade. No entanto, caso a falha seja gradual, como por exemplo o aumento do ruído, a acção de manutenção pode ser programada para uma ocasião mais conveniente (Assis, 2004).

Segundo a Norma Europeia EN 13306:2010, a manutenção correctiva é realizada após a ocorrência de uma falha e quando se pretende colocar um componente num estado em que se pode executar a função requerida.

De acordo com Márquez (2007), a manutenção correctiva pode ser imediata ou diferida.

- **Manutenção imediata:** Este tipo de manutenção é executado após a detecção de uma falha para evitar consequências mais problemáticas (EN 13306 (2010)).
- **Manutenção diferida:** Esta manutenção consiste em não actuar imediatamente após a detecção da falha, mas atrasando a sua intervenção de acordo com determinadas regras estipuladas (EN 13306 (2010)).

2.1.4. Metodologia RCM

A Manutenção Centrada na Fiabilidade ou *Reliability Centered Maintenance (RCM)* é uma metodologia desenvolvida para determinar o modelo de manutenção mais eficaz. Surgiu durante a década de 50, na área da aviação, de forma a conseguir reduzir os custos de manutenção, mantendo a fiabilidade e segurança dos equipamentos.

O RCM é uma técnica para desenvolver um plano de manutenção preventivo, em que a fiabilidade do sistema é a função principal do mesmo. No entanto, a melhoria da fiabilidade do sistema apenas é possível através de modificações no mesmo (Telang e Telang, 2010).

Os principais objectivos do RCM são (Dhillon, 2006):

- Estabelecer prioridades que possam facilitar a manutenção preventiva, de uma forma efectiva;
- Planear tarefas de manutenção preventiva que possam restabelecer a segurança e a fiabilidade aos níveis originais do sistema em deterioração;
- Recolha de informação necessária para melhorar os sistemas que demonstrem um nível de fiabilidade original insatisfatório;
- Atingir os três pontos anteriores com o menor custo total (incluindo o custo de falhas residuais e custo de manutenção).

2.1.5. Indicadores de desempenho

Na manutenção, os indicadores de desempenho são utilizados de forma ser possível analisar e compreender o ritmo a que ocorrem as falhas, os tempos de reparação, a disponibilidade dos equipamentos, bem como o sucesso da política de manutenção da empresa (Cabral, 2006).

Os indicadores da gestão da manutenção mais conhecidos são o *MTBF*, o *MTTR*, a manutibilidade e a disponibilidade do equipamento.

Para um determinado sistema reparável o *Mean Time Between Failures*, *MTBF*, corresponde ao tempo que decorre entre o fim de uma reparação e o início da reparação seguinte. Obtém-se o indicador apresentado na expressão seguinte (Dias, 2002):

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{n_f} \quad (2.1)$$

Em que T corresponde tempo total de duração do ensaio e n_f ao número de falhas.

É de referir que a taxa de falhas, λ , é descrita pela expressão seguinte (Birolini, 2010):

$$\lambda = \frac{n_f}{T} \quad (2.2)$$

O *Mean Time to Repair*, *MTTR*, corresponde ao tempo médio para reparação, onde *TTR* (*Time To Repair*) corresponde ao tempo de reparação da falha do componente. É assim definido pela expressão seguinte:

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{n_f} \quad (2.3)$$

A manutibilidade, *M*, é definida como a probabilidade de um sistema ser restabelecido num menor tempo possível, *TTR* (Wuttke e Sellitto, 2008).

O indicador da disponibilidade, *D*, é definido como a probabilidade de um determinado equipamento estar disponível para operar quando necessário. É possível determinar este indicador através da expressão seguinte:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.4)$$

2.2. Fiabilidade: Estatística das falhas

A história da engenharia da fiabilidade começa na segunda Guerra Mundial, quando os alemães introduzem pela primeira vez este conceito, com o intuito de melhorar a fiabilidade dos seus foguetes V1 e V2.

Em 1950 o departamento de Defesa dos EUA estabeleceu um comité sobre a fiabilidade, e em 1952 foi transformado num grupo permanente denominado por Comité Consultivo sobre a fiabilidade de Equipamentos Electrónicos (Dhillon, 2006).

De acordo com Ascher e Feingold (1984), a fiabilidade é a engenharia na sua forma mais prática.

O estudo da fiabilidade tem sido aplicado não só nas áreas de engenharia industrial, mecânica e electrónica, mas também em áreas como a informação, comunicação e engenharia informática. Muitos investigadores têm desenvolvido estatisticamente e estocásticamente complexos sistemas de forma a melhorar a sua fiabilidade (Nakagawa, 2005).

Um dos objectivos do estudo da fiabilidade é fornecer a informação suficiente para a tomada de decisão. Desta forma, quando se decide realizar um estudo de fiabilidade, é necessário determinar os objectivos a atingir, os problemas e as limitações do estudo face à informação disponível para a sua realização (Dias, 2002).

A Norma Europeia EN 13306:2010 define a fiabilidade como a probabilidade de um elemento desempenhar uma função para o qual está especificado segundo determinadas condições e durante um tempo previamente estabelecido.

Em termos matemáticos, como demonstrado na figura 2.3, a fiabilidade é mensurável através da probabilidade de um sistema ou de um componente continuar a sua operação, sem ocorrer uma falha, durante um intervalo de tempo específico $[0,t]$, segundo determinadas condições de operação e ambientais (Todinov, 2005).

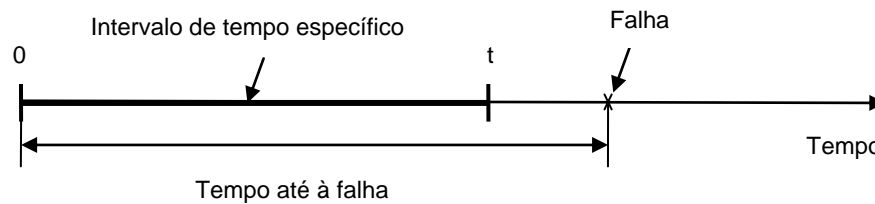


Figura 2.3: Fiabilidade sob perspectiva matemática (Adaptado de: Todinov (2005)).

2.2.1. Análise de sobrevivência

A análise de sobrevivência é o nome que se dá às técnicas estatísticas utilizadas para descrever e quantificar o tempo entre o qual ocorre um determinado evento (Stevenson, 2009).

Esta é extremamente útil para o estudo de diferentes tipos de eventos, não só nas ciências sociais como nas naturais, incluindo o início da doença, falhas de equipamento, terremotos, acidentes de automóvel, quedas do mercado de acções, revoluções, prisões, nascimentos, casamentos e divórcios. Este método foi utilizado em diferentes áreas e a sua designação difere em cada uma delas sendo análise de eventos da história (sociologia), análise de fiabilidade e análise de falhas de tempo (engenharia), análise de duração e análise de transição (economia).

Todas as abordagens efectuadas em análise de sobrevivência são probabilísticas ou estocásticas, isto é, os tempos associados à realização de um determinado evento são assumidos como realizações de processos aleatórios. Assim a hora do evento para um determinado componente, T , é uma variável aleatória com uma distribuição de probabilidade associada (Allison, 2010).

2.2.1.1. Dados censurados

Os dados censurados predominam em estudos de fiabilidade. Assim, é importante compreender os diferentes tipos de dados. Existem três tipos básicos: censurados à direita, censurados à esquerda e intervalo censurado. Existe ainda outro tipo de dados censurados especial denominado tempo exacto de falha (Ryan, 2007).

- **Censurados à direita:** Nestes dados o componente é removido do estudo quando ainda se encontra em funcionamento, desconhecendo-se o instante de tempo em que este teria falhado se o estudo tivesse continuado. Quando este tipo de censura é utilizado, deve-se assumir que os itens que removidos do estudo, num determinado momento, são representativos de todos os itens naquele instante. Este tipo de censura é denominado por Tipo I.
- **Dados censurados à esquerda:** nestes dados os itens são removidos do estudo num determinado momento, se não estiverem em funcionando. Neste caso o tempo de falha é desconhecido, sabendo-se apenas que o componente falhou em algum instante entre o início do estudo e o tempo em que foi removido. Este tipo de censura é denominado por Tipo II.
- **Intervalo censurado:** compreende um intervalo de tempo onde no instante inicial o componente se encontra em pleno funcionamento e no instante final ocorre uma falha.
- **Tempo exacto de falha:** consiste em que o final do período de estudo só ocorra no momento em que um determinado componente falha, admitindo a inexistência de dados censurados, facilitando o estudo e análise dos dados obtidos. Porém, não é muito usual utilizar este tipo de método, pois existem bastantes variáveis associadas ao facto de aguardar pela falha do componente.

É possível observar representações esquemáticas extremamente elucidativas dos três tipos de dados censurados no período em estudo $T = \tau_A - \tau_0$.

Considerando que ocorreu uma falha, representada pelo número 1, antes do início do ensaio em $\tau = 0$, pode-se constatar que a falha representada pelo número 2 constitui a primeira observação do ensaio, em t_1 , perante um dado censurado à esquerda ($t_1 = \tau_1 - \tau_0$). Analogamente o valor de t_3 ($t_3 = \tau_A - \tau_3$) é censurado à direita, uma vez que pode ter ocorrido uma falha registada com o número 4 que se desconhece, após o término das observações.

O intervalo censurado é representado por \tilde{t} , o qual demonstra um intervalo de tempo em que no instante inicial o componente se encontra em funcionamento, surgindo uma falha no instante final (falha 3) (Dias, 2002).

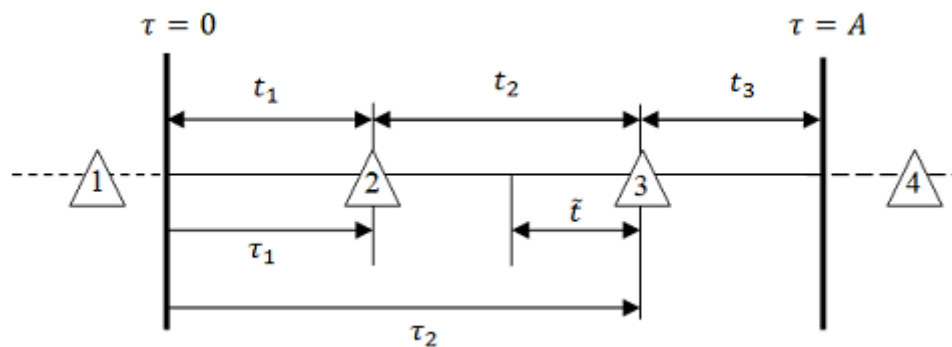


Figura 2.4: Representação esquemática de dados censurados (Adaptado de: Dias (2002)).

2.2.2. Análise estatística das falhas

Na teoria da fiabilidade, a dificuldade mais importante é a estimação estatística do momento em que um componente falha. Do ponto de vista da fiabilidade, as distribuições de falha e os respectivos parâmetros são estimados estatisticamente (Nakagawa, 2008).

Com o intuito de modelar as variáveis aleatórias, a maioria das áreas utiliza a Distribuição Normal. No entanto, na área da fiabilidade, devido aos tempos desde a última falha serem sempre positivos, a distribuição normal não deverá ser aplicada, mas sim a distribuição de Weibull (Marques, 2009).

Considerando T uma variável aleatória não negativa, representando o tempo de vida de um indivíduo de uma população homogênea, a distribuição de probabilidade T pode ser especificada de várias formas, embora três sejam particularmente úteis no âmbito da fiabilidade: a função fiabilidade ou de sobrevivência, a função densidade de probabilidade e a função de risco (Kalbfleisch e Prentice, 2002).

2.2.2.1. Função de Fiabilidade ou de Sobrevivência

A função de distribuição cumulativa (f.d.c.) é aplicável a todas as variáveis aleatórias. A f.d.c. de uma variável T , denominada por $F(t)$, é uma função que faculta a probabilidade da variável ser inferior a qualquer valor de t , previamente definido. Assim (Allison, 2010):

$$F(t) = P(T < t) = \int_0^t f(\mu) d\mu \quad (2.5)$$

Na análise de sobrevivência é mais usual a utilização de uma função intimamente relacionada, a qual se denomina por função sobrevivência ou de fiabilidade definida, para valores contínuos ou discretos, como:

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) = \int_t^\infty f(\mu) d\mu \quad (2.6)$$

Se o acontecimento de interesse é a falha ocorrida num determinado componente, a função de fiabilidade dá a probabilidade do sistema continuar em funcionamento para além de t .

2.2.2.2. Função Densidade de Probabilidade

Quando as variáveis são contínuas, outra forma de descrever as distribuições de probabilidade é através da função densidade de probabilidade (f.d.p.), que se define por (Allison, 2010):

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2.7)$$

2.2.2.3. Função de Risco

Uma outra forma de descrever as distribuições associadas a dados de análise de sobrevivência é através da função de risco, a qual se define como (Allison, 2010):

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.8)$$

A partir da função de risco define-se o valor da probabilidade condicionada de falha em t . Sendo o tempo contínuo, considera-se a probabilidade de uma falha ocorrer num intervalo pequeno entre $t + \Delta t$. A probabilidade de uma falha ocorrer é também dependente da sobrevivência individual ao tempo t , uma vez que se a falha já ocorreu não se encontra mais em risco para o evento. Logo, na probabilidade condicional, só interessa ter em consideração os sobreviventes até t .

Das funções referidas anteriormente é possível obter as restantes. Esta facilidade em obter as expressões através das suas relações tem extrema relevância na sua utilização em análises de modelos de sobrevivência. Em termos de $h(t)$, obtém as expressões de $f(t)$ e $R(t)$:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{-\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln R(t) \quad (2.9)$$

Como R é uma probabilidade só se pode tomar valores delimitados por 0 e 1. No entanto, como em análises de sobrevivência não faz sentido considerar valores negativos de T , pode-se concluir que $R(0) = 1$, obtendo-se a função geral de fiabilidade:

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(\mu) d\mu} = e^{-H(t)} \quad (2.10)$$

2.2.3. Métodos não paramétricos da estimativa da fiabilidade

Considerando que os tempos desde a última falha são representados por $t_1 < t_2 < \dots < t_k$ numa amostra de dimensão n de uma população homogénea com uma função de fiabilidade $R(t)$. Quando se está perante dados censurados conhecidos (t_{jl}) a função de máxima verosimilhança de $R(t)$, é dada por:

$$L = \prod_{j=0}^k \left\{ [R(t_j) - R(t_j + \Delta t)]^{d_j} \prod_{l=1}^{m_j} R(t_{jl} + \Delta t) \right\} \quad (2.11)$$

De modo a maximizar o valor de L , obtém-se a estimação $\hat{R}(t)$ da máxima verosimilhança. A função de fiabilidade estimada é descontínua nos pontos onde se observam falhas. Assim, considerando que $t_{jl} \geq t_j$, $R(t_{jl} + \Delta t)$ é maximizado fazendo $R(t_{jl} + \Delta t) = R(t_j + \Delta t)$ e $R(t_{0l}) = 1$.

Dado que $\hat{R}(t)$ é discreta em t_j , a probabilidade de falha é dada por $h_j = \frac{f(t_j)}{R(t_j)}$, onde $R(t_j)$ representa a fiabilidade dos sistemas não falharem em t_j . Deste modo o estimador para a função de fiabilidade é dado por:

$$\hat{R}(t) = \prod_{j|t_j < t} \left(\frac{n_j - d_j}{n_j} \right) \quad (2.12)$$

Esta expressão é também conhecida por estimador de *Kaplan-Meier* e subestima os valores de fiabilidade quando os últimos tempos são censurados.

Outro modo de se estimar a função fiabilidade é através de tabelas de tempo de vida (Dias, 2002).

2.3. Sistemas Reparáveis

Estatisticamente, um sistema reparável (SR) é aquele que, depois de não realizar uma ou mais funções satisfatoriamente, pode ser restaurado voltando à condição ideal de funcionamento, sem ser substituído (Ascher e Feingold, 1984).

Em termos de fiabilidade, na indústria, os sistemas reparáveis são os equipamentos mais utilizados. Estes sistemas estão sujeitos a manutenção preventiva ou correctiva, a qual pode influenciar os intervalos de tempo entre falhas (Dias, 2002).

Assim, ao iniciar qualquer estudo, é fundamental analisar a tendência e a independência dos dados disponíveis, sendo possível utilizar vários métodos (Ascher e Feingold, 1984).

Os sistemas reparáveis devem incluir a possibilidade de acções de manutenção adicionais, visando melhorar o desempenho do sistema. A análise do tempo entre falhas revela-se importante para compreender o comportamento do sistema, sendo a teoria dos processos pontuais a principal ferramenta. Os modelos mais utilizados são os Processos de *Poisson* Homogéneos (PPH) e Processos de *Poisson* Não Homogéneos (PPNH) (Lindqvist, 2006).

Considera-se que é um Processo de *Poisson* Homogéneo (PPH), quando a taxa de falhas se verifica constante (ou aproximadamente constante) e um Processo de *Poisson* Não Homogéneo (PPNH), caso a taxa de falhas não seja constante (Assis, 2004).

2.3.1. Tendência dos dados

No âmbito do estudo da fiabilidade é importante analisar as falhas do ponto de vista quantitativo. Segundo Smith (2011) o padrão de falhas ao longo do tempo, em sistemas reparáveis, pode ser ilustrado pela curva da banheira, em que a representação gráfica é efectuada através da taxa de falhas (ROCOF - *rate of occurrence of failure*) e da idade do sistema, procurando descrever a variação da taxa de falhas dos componentes durante a sua vida.

Como é possível observar na figura seguinte, à primeira parte da curva, onde a taxa de falha é decrescente, dá-se o nome de Fase Infantil. Na parte do meio da curva, onde a taxa de falhas é constante, dá-se o nome de Fase de Maturidade. A parte final da curva, onde a taxa de falhas é crescente, dá-se o nome de Fase de Envelhecimento (Smith, 2011).

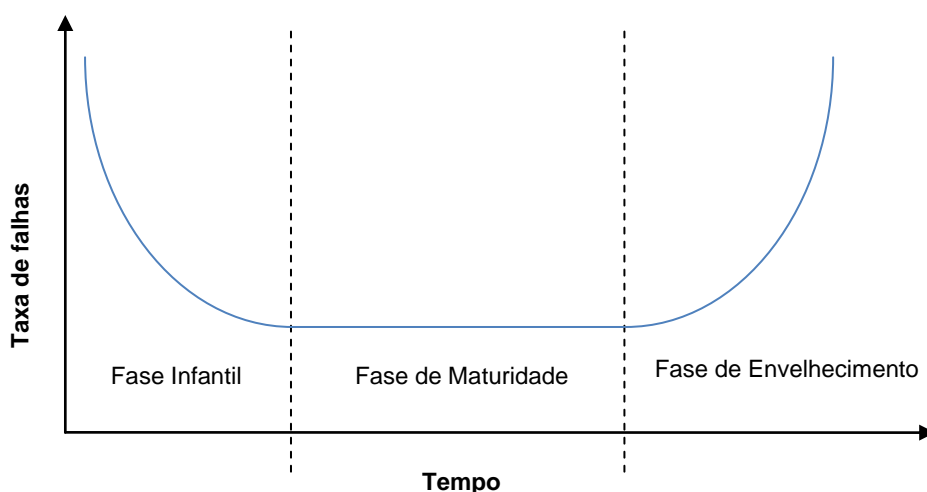


Figura 2.5: Curva da banheira (Adaptado de: Smith (2011)).

A fase infantil compreende o início da vida e é caracterizada por uma taxa de falhas inicialmente elevada que diminui com o tempo. Os insucessos desta fase são devidos essencialmente à qualidade e resultam de defeitos inerentes à má concepção, fabricação e montagem. Podem também ser atribuídos a erro humano durante a instalação e operação.

A fase de maturidade é caracterizada por uma taxa de falhas aproximadamente constante. Nesta fase as falhas ocorrem de modo inesperado pois são falhas aleatórias, que estatisticamente se comportam como um Processo de *Poisson* Homogéneo (PPH).

A fase de envelhecimento é caracterizada por um aumento da taxa de falhas com a idade devido ao desgaste acumulado e degradação das propriedades como por exemplo o desgaste, a erosão, a corrosão ou a fadiga (Todinov, 2005).

2.3.2. Teste de Laplace

De forma a compreender se um sistema reparável se comporta como um PPH ou, se pelo contrário, segue PPNH é essencial a análise estatística da ordem cronológica das falhas para um determinado nível de significância (Dias e Pereira, 2005).

Para verificar se o Processo de *Poisson* é dependente do tempo podem utilizar-se vários testes, no entanto o teste de *Laplace* é o mais comum (Ascher e Feingold, 1984).

No pressuposto de um PPH, a estatística do teste de *Laplace* Z_0 é distribuída segundo a Normal reduzida e pode ser obtida pela equação (2.13), na qual n_f representa o número de falhas, T é o tempo de observação do sistema e τ é a idade do sistema no momento da falha (Dias *et al.*, 2007).

Desta forma, o teste de hipóteses é dado por:

H_0 : Taxa de falhas constante

H_1 : Taxa de falhas não constante

Assim, a estatística do teste de Laplace é definida como:

$$Z_0 = \sqrt{12n_f} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_f} \tau_i}{n_f \times T} - 0,5 \right] \quad (2.13)$$

Está-se perante um PPNH com ROCOF crescente e decrescente, quando se verifica $Z_0 > Z_{\alpha/2}$ ou $Z_0 < -Z_{\alpha/2}$, respectivamente. Quando se verifica $-Z_{\alpha/2} < Z_0 < Z_{\alpha/2}$ está-se perante um PPH com ROCOF constante (Dias e Pereira, 2005).

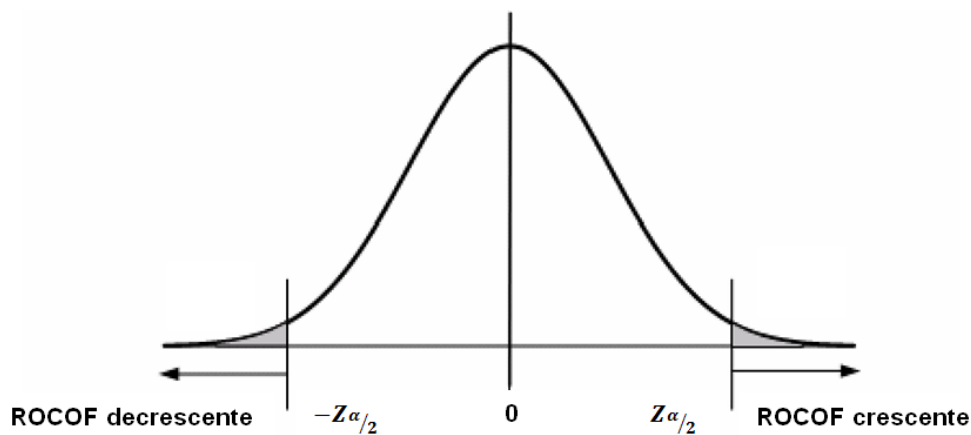


Figura 2.6: Distribuição Normal Reduzida (Adaptado de: Dias e Pereira (2005)).

2.3.3. Processos Estocásticos Pontuais – Processos de *Poisson*

Um Processo de *Poisson* (PP) consiste numa sequência de ocorrências de falha de um sistema reparável (SR) durante o seu período de funcionamento (Dias e Pereira, 2005).

Ao considerar que o SR é constituído por um ou mais componentes, a sequência de falhas pode ser devida à falha de apenas um componente ou de componentes distintos.

Desta forma o processo de *Poisson* permite obter conclusões sobre a evolução das falhas ao longo do tempo.

2.3.3.1. Processos de *Poisson* Homogéneos (PPH)

Entende-se por PPH todo o processo que possui uma taxa de falhas λ constante. Um PPH define-se como uma sequência interminável de variáveis aleatórias positivas e exponencialmente distribuídas. Um processo estocástico pontual $\{N(t), t \geq 0\}$ denomina-se PPH se (Ascher e Feingold, 1984):

- i. $N(0) = 0$.
- ii. $\{N(\tau), \tau \geq 0\}$ é incrementado de forma independente.
- iii. O número de falhas em qualquer intervalo Δt segue uma distribuição de *Poisson* com um valor médio de $m = \lambda_0 \times \Delta t$.

Deste modo, a probabilidade de ocorrerem falhas, n_f , num determinado intervalo de tempo, Δt , é dada pela seguinte expressão:

$$P\{N(\Delta t) = n_f\} = \frac{e^{-m} m^{n_f}}{n_f!} \quad (2.14)$$

A fiabilidade do SR pode ser calculada para um determinado intervalo de tempo Δt , tem-se:

$$R(\Delta t) = e^{-\lambda \Delta t} \quad (2.15)$$

A função densidade de probabilidade exponencial negativa modela o tempo até à falha de um componente que segue um PPH e é dada por:

$$f(\Delta t) = \lambda e^{-\lambda \Delta t} \quad (2.16)$$

2.3.3.2. Processos de Poisson não Homogêneos (PPNH)

Os PPNH são aqueles em que a ROCOF é variável ao longo do tempo. Em termos práticos permite revelar se a taxa de falhas do sistema é decrescente (fiabilidade crescente) ou se é crescente, sendo então um sistema que se está a deteriorar (“fiabilidade decrescente”). Neste caso, a taxa de falhas pode ser determinada por:

$$\rho(t) = \frac{dN[t]}{dt} \quad (2.17)$$

Assim, a fiabilidade será dada por:

$$R(t) = e^{-\int \rho(t)dt} \quad (2.18)$$

Nesta situação está-se na presença de uma sequência não aleatória de falhas, o que significa que os tempos desde a última falha podem diminuir ou aumentar ao longo do tempo (Dias e Pereira, 2005).

2.3.3.2.1. Modelo de Crow

Em 1974, Crow desenvolveu e aplicou um modelo para analisar um sistema que apresente um PPNH. Assim, a taxa de falhas do modelo de Crow é dado por:

$$\rho(\tau) = \lambda^* \beta^* \tau^{\beta^* - 1} \quad \lambda^*, \beta^* > 0 \quad \tau \geq 0 \quad (2.19)$$

Neste caso as variáveis λ^* e β^* ¹ são os coeficientes não paramétricos do modelo de Crow. A estimação analítica é obtida pelo método de máxima verosimilhança. Assim tem-se (Wang e Coit, 2005):

$$\hat{\beta}^* = \frac{n_f}{\sum_{i=1}^{n_f} \ln\left(\frac{T_0}{\tau_i}\right)} \quad (2.20)$$

$$\hat{\lambda}^* = \frac{n_f}{T_0^{\hat{\beta}^*}} \quad (2.21)$$

¹ Não confundir com a taxa de falhas (λ) nem com o parâmetro de forma (β) da distribuição de Weibull.

Uma vez que os tempos entre falhas não são constantes não é possível calcular o *MTBF*. Para estes casos recorre-se ao denominado tempo cumulativo médio entre falhas (*CMTBF*). Este valor pode ser calculado a partir da seguinte expressão:

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(\tau)} \quad (2.22)$$

2.4. Distribuição de *Weibull*

No âmbito de estudos de fiabilidade, a distribuição de *Weibull* é considerada uma das distribuições mais utilizadas. Esta distribuição derivou do nome de um professor sueco Waloddi Weibull (1887-1979) (Murthy *et al.*, 2004).

A distribuição de *Weibull* é bastante flexível podendo ser ajustada a uma grande variedade de formas de distribuições de probabilidade. Esta distribuição contribui para a análise dos tempos entre falhas, dada a sua capacidade de descrever o comportamento do sistema, quer este demonstre uma taxa de falhas constante, crescente ou decrescente (Nelson, 2004).

Desta forma, é frequentemente utilizada para modelar os tempos de vida dos componentes. Para os tempos de vida em análise a estimativa dos parâmetros da distribuição é obtida pelo método da máxima verosimilhança (Dias *et al.*, 2007).

Com a obtenção dos parâmetros da distribuição é possível calcular os tempos de aplicação de manutenção preventiva consoante a fiabilidade pretendida (Tsarouhas, 2011).

Para um componente, cujos tempos de falha podem ser modelados pela distribuição de *Weibull* são dadas as seguintes funções (Dias *et al.*, 2007).

2.4.1. Função densidade de probabilidade

A função densidade de probabilidade da distribuição de *Weibull* é definida por:

$$f(t; \beta, \eta) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \left(e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta}} \right) \quad (2.23)$$

Do ponto de vista estatístico, η representa o parâmetro de escala. Ao modificar o valor deste parâmetro, mantendo os restantes constantes, a curva altera-se em relação às

ordenadas. O parâmetro β denomina-se parâmetro de forma e ao variar este parâmetro a função densidade de probabilidade altera a sua forma (Rinne, 2009). A representação esquemática encontra-se no Anexo I.

Ao alterar o parâmetro de forma implica que a função densidade de probabilidade se aproxime das seguintes distribuições:

- $\beta < 1$ Distribuição Gama.
- $\beta = 1$ Distribuição Exponencial Negativa.
- $\beta > 1$ Distribuição Normal (onde $\beta = 3,3$ corresponde a uma distribuição Normal).

2.4.2. Função de fiabilidade

A função de distribuição de probabilidade é dada por:

$$F(t; \beta, \eta) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.24)$$

Assim, a função de fiabilidade é definida por:

$$R(t; \beta, \eta) = 1 - F(t; \beta, \eta) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.25)$$

2.4.3. Função de risco

A função de risco é resultado da divisão entre a função densidade de probabilidade e a função de fiabilidade, dando origem à expressão (Stepelberg, 2009):

$$h(t; \beta, \eta) = \frac{f(t; \beta, \eta)}{R(t; \beta, \eta)} \quad (2.26)$$

Logo,

$$h(t; \beta, \eta) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.27)$$

Verifica-se que a função de risco aumenta quando $\beta > 1$ e diminui quando $0 < \beta < 1$. Quando a taxa de falhas é constante tem-se $\beta = 1$ (distribuição exponencial). A representação esquemática dos diferentes valores de β encontra-se no Anexo I.

2.5.OEE

O OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) foi apresentado pela primeira vez por Nakajima. Esta ferramenta tem um papel proeminente na maximização da eficiência dos equipamentos pois, não só gera o resultado da eficiência como permite análises detalhadas a partir do seu cálculo. Desta forma, permite medir as melhorias implementadas com a metodologia TPM, analisando as reais condições da utilização dos activos da organização (Santos e Santos, 2007).

No início da década de 1980, após a introdução da manutenção produtiva total (TPM - *Total Productive Maintenance*), a função manutenção ganhou reconhecimento como a principal contribuição para a eficácia global dos equipamentos (OEE) das empresas, sendo uma das principais medidas de utilização global de instalações (Hansen, 2002).

O OEE é amplamente utilizado no TPM e no *lean manufacturing*. É uma quantificação do grau de eficiência do desempenho de uma empresa em relação à sua capacidade planeada, durante o tempo de execução planeado (Zuashkiani *et al.*, 2011).

Actualmente, o OEE é considerado um *Key Performance Indicator* (KPI) amplamente utilizado na indústria moderna, o qual permite medir a eficiência de uma máquina, de uma linha de produção ou de uma unidade industrial (Barros e Lima, 2009).

A análise OEE envolve trabalho integrado e coordenado de forma a alcançar a máxima eficiência dos equipamentos através da eliminação de 6 grandes perdas. Essas perdas são (Nakajima, 1989):

1. **Falha/falha do equipamento** – indisponibilidade do equipamento até que se consiga repor a condição inicial;
2. **Setups e afinações** – normalmente associadas a mudanças de produção;
3. **Pequenas paragens** – interrupções dos ciclos provocadas por quebras intermitentes da linha de produção gerando paragens e arranques constantes;
4. **Redução de velocidade relativamente ao definido** – diferença entre a cadência de produção definida (teórica) e a que é conseguida na prática. Esta situação conduz a que se reduza a velocidade de trabalho dos equipamentos, permitindo que estes se mantenham em operação, encobrindo as reais causas do problema;

5. **Defeitos de qualidade e retrabalho** – produção não conforme, a qual pode ser causada pelo mau funcionamento do equipamento ou pelo operador;
6. **Perdas no arranque (*start-up*)** – após determinada paragem, as perdas no arranque acontecem nos equipamentos que possuem restrições técnicas, as quais obrigam a um período até à estabilização das condições de produção. Até serem repostos os parâmetros operacionais, mesmo que haja produção, não se consegue reunir os critérios de qualidade definidos.

Com a eliminação de cada uma das perdas é possível atingir determinadas metas, como se apresenta na tabela seguinte.

Tabela 2.1: Metas de melhoria para as perdas (Adaptado de: Nakajima (1989)).

Perdas	Meta	Explicação
1 - Falha/avaria	0	Reduzir para zero
2 - <i>Setups</i> e afinações	Minimizar	Reduzir os tempos de <i>setup</i> para menos de 10 minutos
3 - Pequenas paragens	0	Reduzir para zero
4 - Redução de velocidade	0	
5 - Defeitos de qualidade e retrabalho	0	
6 - Perdas de arranque	Minimizar	Reduzir para zero

Uma das principais vantagens do *OEE* é que este pode ser dividido em três medidas, as quais podem ser facilmente determinadas, a disponibilidade, o desempenho e a qualidade. O *OEE* resulta assim da multiplicação desses três factores, como se encontra demonstrado na expressão seguinte (Nakajima, 1988).

$$OEE = \text{Disponibilidade} \times \text{Desempenho} \times \text{Qualidade} \quad (2.28)$$

A disponibilidade é definida como a porção de tempo planeado em que o equipamento está pronto para produção, o desempenho mede a velocidade com que o equipamento é operado durante o tempo de produção planeado em relação à sua capacidade nominal e a qualidade mede a percentagem de produtos que atendam a qualidade mínima requerida (Zuashkiani *et al.*, 2011).

A função manutenção afecta todas as medidas do *OEE*. Quanto à disponibilidade, esta é afectada pela manutenção na medida em que todas as actividades de paragem planeadas reduzem a disponibilidade dos equipamentos afectando, consequentemente, o *OEE* da

empresa. Quanto ao desempenho este diminui, pois após qualquer paragem não planeada é necessário actuar para que a taxa de produção volte à velocidade normal, levando ao desperdício de tempo. Em relação à qualidade, os equipamentos defeituosos e as falhas criaram imperfeições no produto final, levando a desperdícios. Assim, a qualidade do produto será menor (Zuashkiani *et al.*, 2011).

Ao conhecer o efeito da manutenção no *OEE* verifica-se que esta deixou de ser vista como um custo mas sim como um investimento, o qual terá grande retorno. Ao conseguir aumentar o *OEE*, mesmo que seja com uma pequena margem, é possível criar uma vantagem competitiva significativa pois, ao ser reduzido o custo de produção a margem de lucro será maior, oferecendo maior flexibilidade no preço potencial do produto (Zuashkiani *et al.*, 2011).

Segundo Nakajima (1988) a disponibilidade pode ser calculada por:

$$Disponibilidade = \frac{\text{Tempo de operação}}{\text{Tempo de produção planeado}} \quad (2.29)$$

O desempenho pode ser calculado por:

$$Desempenho = \frac{\text{Total peças} / \text{Tempo produção}}{\text{Peças por ciclo}} \quad (2.30)$$

A qualidade pode ser calculada por:

$$Qualidade = \frac{\text{Peças boas}}{\text{Total peças}} \quad (2.31)$$

Nakajima (1989) apresenta, baseando-se em experiências e resultados obtidos por empresas consideradas como Classe Mundial, que o *OEE* de 85% deve ser considerado como uma meta ideal a atingir para os equipamentos.

Assim, de forma a atingir este valor as empresas procuram atingir os seguintes indicadores (Cabral, 2006):

- Disponibilidade > 90%
- Desempenho > 95%
- Qualidade > 99%

As seis grandes perdas definidas por Nakajima (1988) influenciam directamente a disponibilidade, o desempenho, a qualidade e consequentemente, o indicador do *OEE*, conforme é apresentado na figura seguinte.

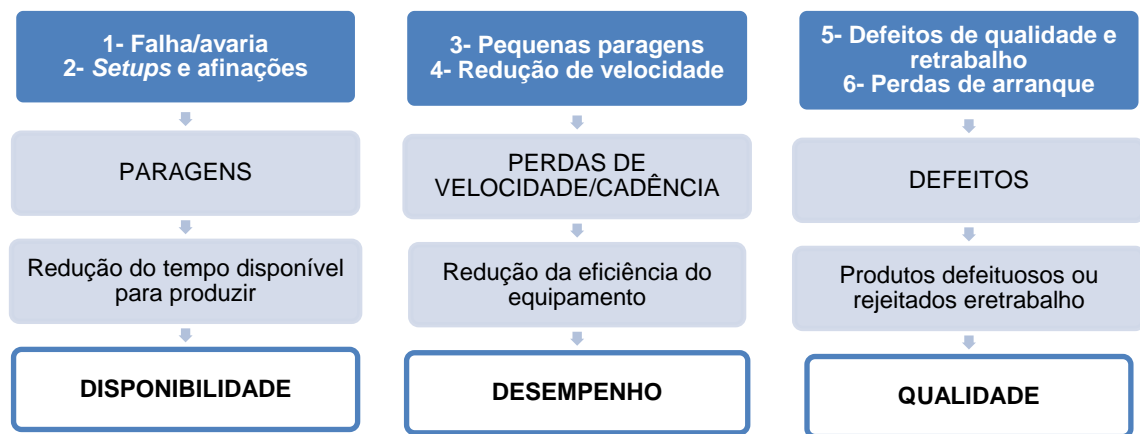


Figura 2.7: Influência das Perdas no OEE.

Sendo a melhoria do OEE um processo contínuo significa que está frequentemente enquadrado em programas de manutenção preventiva. Assim, é necessário definir estratégias com o intuito de eliminar as perdas associadas a cada uma das componentes, adoptando estratégias de prevenção (Silva, 2009).

Tabela 2.2: Estratégias a adoptar para o aumento do OEE (Adaptado de: Silva (2009)).

Perdas	Estratégias de eliminação	Estratégias de prevenção
1 - Falha/avaria	<ul style="list-style-type: none"> Reparação rápida e eficaz. Detectar e corrigir as causas das avarias. 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção preventiva. Manutenção centrada na fiabilidade (RCM).
2 – Setups e afinações	<ul style="list-style-type: none"> Reduzir tempo de mudança. 	<ul style="list-style-type: none"> Conceber ou alterar equipamentos.
3 - Pequenas paragens	<ul style="list-style-type: none"> Eliminação das pequenas paragens. 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção centrada na fiabilidade (RCM). Automação. Autonomiação. Modificar equipamentos para alimentação contínua.
4 - Redução de velocidade	<ul style="list-style-type: none"> Balanceamento das linhas de produção. 	<ul style="list-style-type: none"> Engenharia da fiabilidade
5 – Defeitos de qualidade e retrabalho	<ul style="list-style-type: none"> Detectar e corrigir as causas dos problemas de qualidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Manutenção da Qualidade. Acções Preventivas. Autonomiação.
6 - Perdas de arranque	<ul style="list-style-type: none"> Detectar e corrigir as causas das perdas. 	<ul style="list-style-type: none"> Estudar e implementar as condições ideais de arranque. Modificar equipamentos e ferramentas.

O OEE permite o estudo de aspectos mais amplos da produção, não só a disponibilidade e desempenho do equipamento, mas também as perdas de eficiência que resultam de perdas de retrabalho e de rendimento (Edwards e Starr, 2010).

Todos os departamentos devem trabalhar em parceria com o intuito de melhorar o OEE através da eliminação na origem, das muitas razões para a pouca manutibilidade, operabilidade e fiabilidade (Willmott e McCarthy, 2001).

PARTE II – DESENVOLVIMENTOS PRÁTICOS

Capítulo 3 – Apresentação do sistema em análise

- 3.1. Introdução
- 3.2. A empresa
- 3.3. Estrutura Organizacional
- 3.4. Processo produtivo

3.1. Introdução

Neste capítulo apresenta-se a empresa em estudo, assim como a sua estrutura organizacional. Numa primeira fase descrever-se-á a Multiflow SA e em seguida, será explicitado o processo produtivo da unidade fabril em estudo.

3.2. A empresa – Multiflow SA

A Multiflow SA é uma empresa industrial líder, qualificada, eficiente e competitiva, direccionada ao fabrico e embalagem de produtos líquidos de Higiene Pessoal, Limpeza Doméstica e Industrial, para marcas brancas e próprias de clientes nacionais e internacionais.

3.2.1. História

As instalações foram construídas em 1955, inicialmente com o propósito de ser uma fábrica de peixe enlatado. Mais tarde, as instalações foram convertidas numa fábrica de óleos alimentares e só em 1961 passaram a ser destinadas ao fabrico de detergentes.

Em 1990 a Colgate Palmolive adquiriu a Sonadel, Uniclar e Unisol implementando grandes transformações e definiu a gama de produtos a produzir que se manteve ao longo dos anos.

Em 2005 a empresa holandesa Budelpack adquiriu a fábrica à Colgate Palmolive, no entanto, por erros de gestão entrou em insolvência em 2009.

Surgiu assim a empresa Multiflow SA, através de um MBO² liderado por um antigo Director Fabril e dois directores da empresa.

Foi decidido viabilizar a fábrica, consolidando a sua posição no mercado, apostando numa carteira de clientes forte e na racionalização dos custos. Posteriormente conseguiu angariar três novos clientes, estabilizando a empresa e compensando a quebra de 45% da produção para Colgate (principal cliente e ex-proprietário).

Actualmente a Multiflow SA está a laborar para um cliente na área de produtos industriais, os quais são utilizados em lavandarias, hotéis e hospitais. Tem ainda outros clientes cujos produtos se destinam ao mercado internacional como a empresa Dalli e a Eroski.

Desta forma, a sua actividade centra-se na produção de detergentes líquidos e em pó, de embalagens termoplásticas e na recepção e distribuição de produtos acabados.

3.2.2. Instalações

As instalações da empresa dispõem de todas as infra-estruturas necessárias desde a recepção das matérias-primas até à saída do produto final do seu Armazém. Possui uma área total da propriedade de 81.400 m² dos quais 29.500 m² são área coberta.

² É a aquisição de uma parte ou da totalidade, de uma empresa, por parte dos gestores da mesma.



Figura 3.1: Instalações da empresa Multiflow SA (Fonte: Multiflow SA).

3.2.3. Certificação de Qualidade

A empresa encontra-se certificada pela norma NP EN ISO 9001:2008, a qual se refere às exigências de um sistema de gestão da qualidade, com vista ao aumento da satisfação dos clientes (Gestão da Qualidade Total).

3.3. Estrutura Organizacional

A estrutura da Multiflow SA contempla a existência de 7 departamentos distintos:

- Operações e Desenvolvimento de Negócios;
- Manutenção e Engenharia;
- Logística;
- Qualidade;
- Embalagem e Iniciativas;
- Financeira;
- Recursos Humanos.

Estes departamentos são apoiados pelas seguintes áreas de serviços:

- Administrativos;
- Compras;
- Planeamento;
- Laboratório;
- Manutenção;
- Engenharia;
- Relações Industriais;
- Formação Profissional;
- Medicina no Trabalho.

O complexo fabril dispõe ainda de áreas de apoio aos trabalhadores, como o refeitório, os balneários, os vestiários e o posto médico.

Nesta fábrica trabalham 175 trabalhadores dos quais 141 estão directamente ligados às operações e 34 aos serviços de apoio.

A responsabilidade da manutenção de toda a unidade fabril está a cargo do departamento de Manutenção e Engenharia.

Este departamento é composto por 16 trabalhadores e a sua estrutura organizacional é apresentada na figura seguinte.

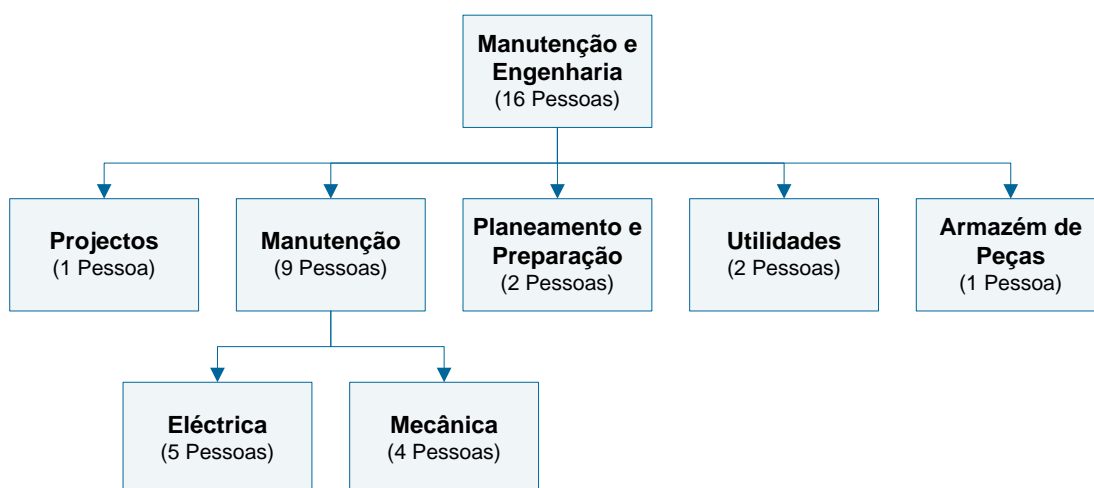


Figura 3.2: Estrutura organizacional do departamento Manutenção e Engenharia (Fonte: Multiflow SA).

A área de Manutenção e Engenharia solicita ainda o apoio a serviços externos como:

- Contratos de manutenção a equipamentos de utilidades, a compressão de ar comprimido e a *chillers*³;
- Trabalhos de serralharia e construção civil;
- Execução de tarefas de manutenção planeada na área de paletização e armazém de distribuição (uma vez que estas áreas apenas estão disponíveis aos fins de semana).
- Nas linhas de enchimento só pontualmente há recurso a entidades externas para intervenções no âmbito da manutenção.

3.4. Processo produtivo

Sendo a Multiflow SA uma empresa de produtos de higiene e limpeza, possui várias linhas de produção, sendo que cada uma contém etapas específicas.

O processo produtivo da Multiflow SA inicia-se com a recepção de várias matérias-primas, as quais, serão utilizadas na produção de embalagens de plástico e na produção da base/líquido.

A base/líquido é armazenada em depósitos e posteriormente é utilizada no processo de enchimento das linhas de produção.

A produção de embalagens de plástico envolve o fabrico de tampas e de frascos. Neste processo estão envolvidas 7 máquinas de injeção plástica e 16 máquinas de sopro, das quais uma é de PET. O fluxograma processual da fábrica de plásticos é apresentado na figura seguinte.

³ Máquina cuja capacidade passa por arrefecer ou aquecer a água.

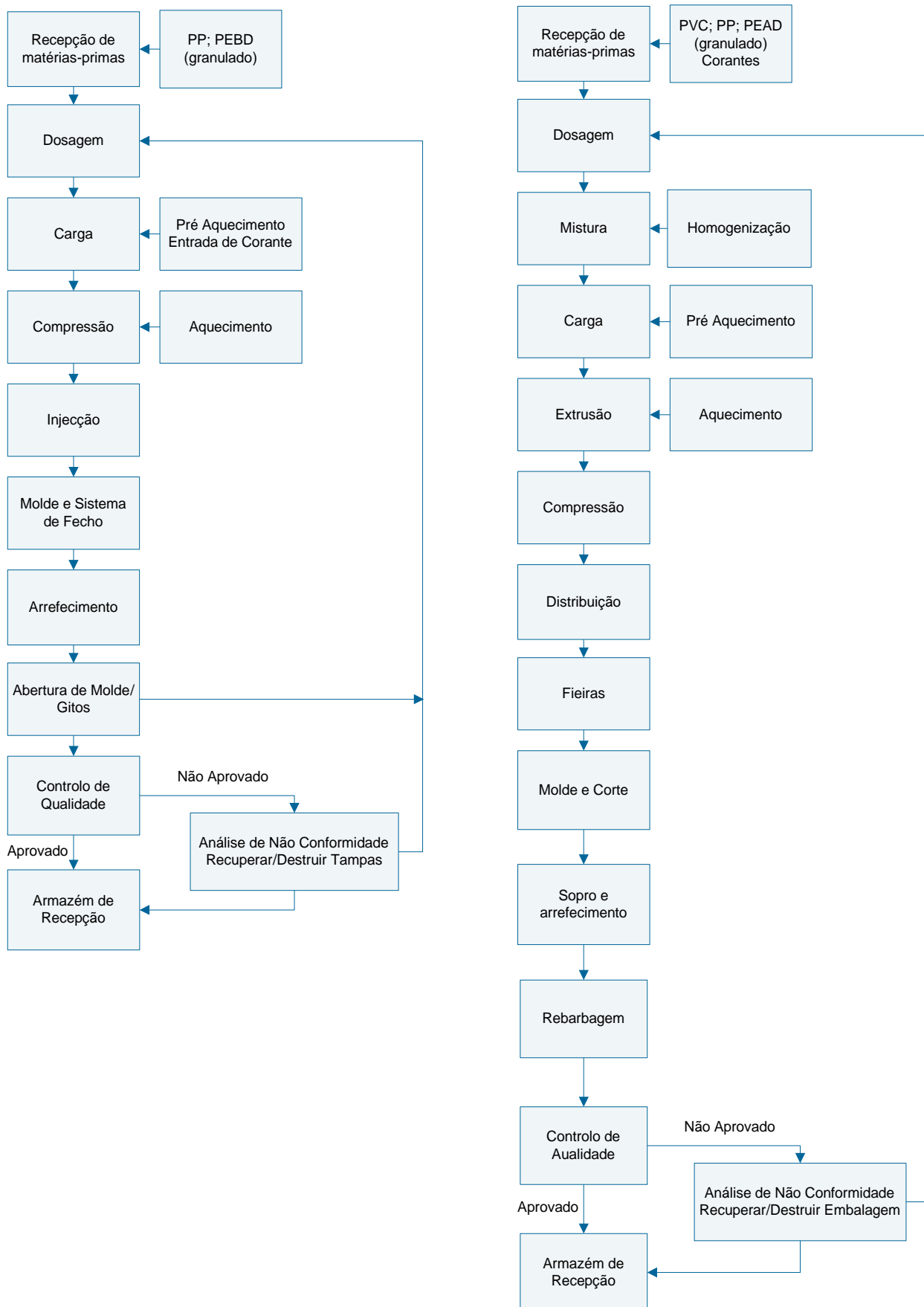


Figura 3.3: Fluxograma de processo para máquinas de injecção e de extrusão/sopro (Fonte: Multiflow SA).

Estas embalagens de plástico são armazenadas em silos específicos para o efeito, sendo posteriormente utilizadas no processo de enchimento.

O processo de enchimento das embalagens de plástico é efectuado em várias linhas, com especificidades próprias, embora muito semelhantes. O fluxograma simplificado do processo genérico de enchimento é apresentado na figura seguinte.

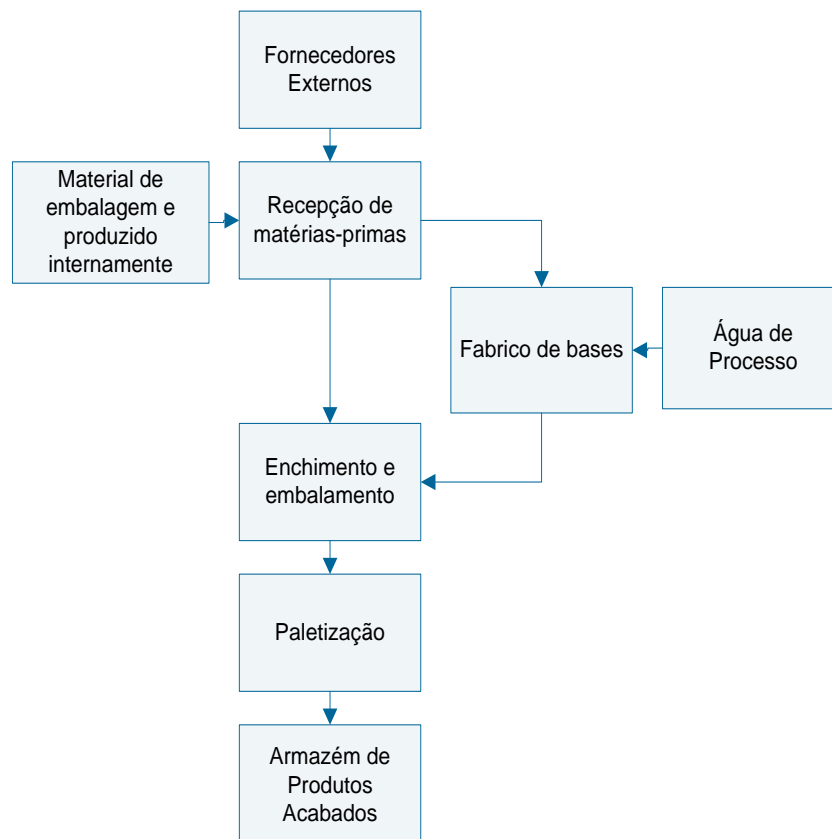


Figura 3.4: Fluxograma do processo de enchimento (Fonte: Multiflow SA).

Capítulo 4 – Análise Estatística do Sistema Global

- 4.1. Introdução
- 4.2. Análise global do sistema
- 4.3. Análise global de paragens do sistema
- 4.4. Análise global de falhas do sistema
- 4.5. Análise estatística global de falhas do sistema
- 4.6. Análise da Disponibilidade do sistema

4.1. Introdução

Quando se está perante uma unidade industrial, cujos equipamentos se encontram numa fase avançada do seu ciclo de vida e apresentam um elevado número de paragens/falhas, é necessário estabelecer prioridades de actuação na manutenção.

Este capítulo tem como objectivo o estudo do estado actual, do ponto de vista da fiabilidade e função de risco, dos vários equipamentos da linha de produção.

Assim sendo é essencial analisar e compreender o comportamento da taxa de falhas dos equipamentos, de forma a fazer uma previsão futura da sua evolução e ainda, verificar quais os que mais contribuem para a função de risco, sendo desta forma possível intervir de uma forma preventiva sobre os equipamentos.

4.2. Análise global do sistema

Na presente dissertação, o sistema reparável em estudo é composto por um conjunto de equipamentos pertencentes a uma linha de produção, designada por L10. Esta linha é constituída por 16 equipamentos diferentes, sendo que alguns sofreram alterações nos últimos anos, considerando-se desta forma, apenas os dados referentes ao ano de 2010.

A linha de produção em estudo faz o enchimento de embalagens de um determinado gel de banho e opera de segunda a sexta-feira, podendo laborar a 1, 2 ou 3 turnos por dia, consoante o planeamento produtivo. Cada turno tem um funcionamento de 8 horas e é composto por 2 operadores.

A linha de produção é constituída pelos seguintes equipamentos:

- Agrupadora;
- *Bunker* Frascos;
- *Bunker* Tampas;
- Capsuladora;
- Codificador Caixas Codom.;
- Codificador Laser;
- Elevador Caixas;
- Encartonadora;
- Enchedora;
- Etiquetadora;
- Orientador de Frascos;
- Posicionador de Frascos;
- Posicionador de Tampas;
- Rotuladora;
- Transportador de Caixas;
- Túnel Retráctil.

O processo produtivo de enchimento das embalagens de gel de banho é apresentado na figura 4.1.

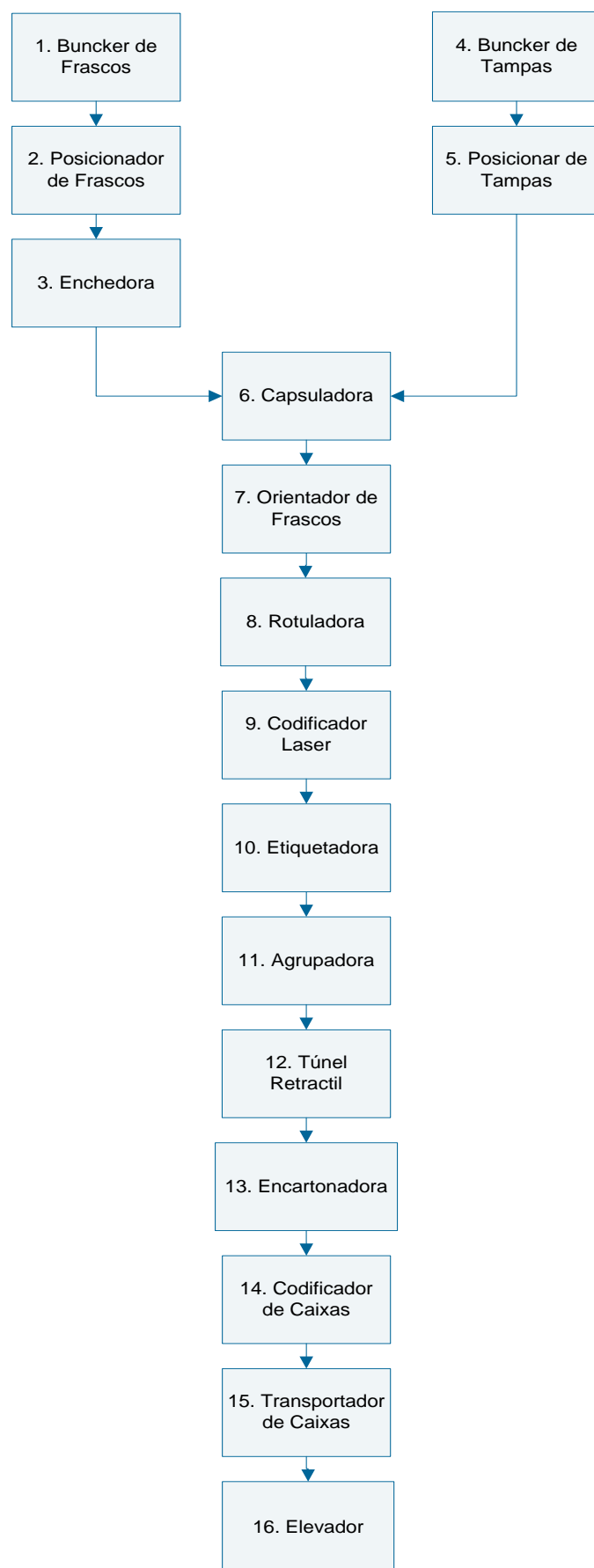


Figura 4.1: Fluxograma do processo de enchimento da L10 (Fonte: Multiflow SA).

De forma a compreender melhor o processo produtivo, apresenta-se o *layout* da linha de produção na figura 4.2.

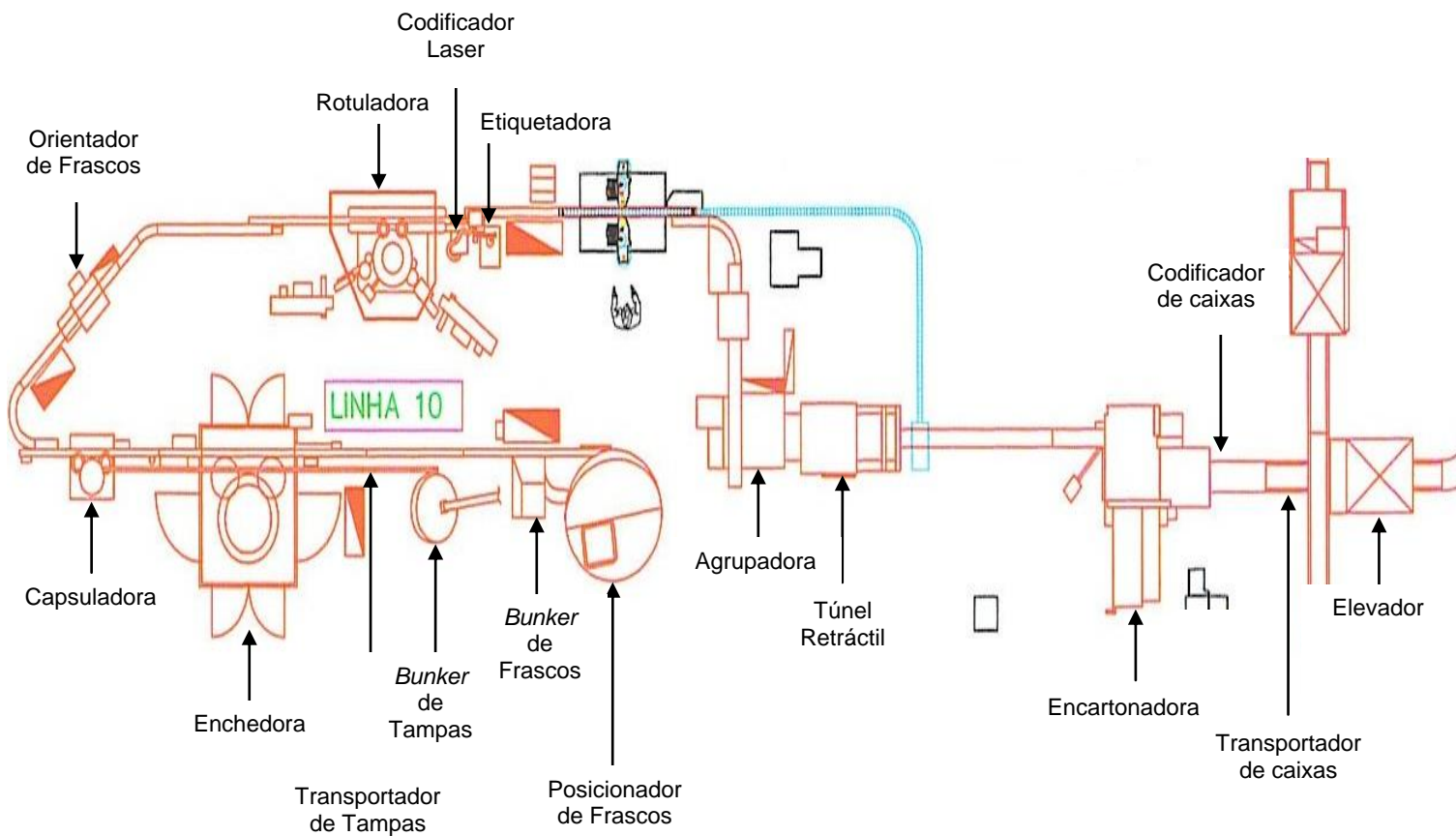


Figura 4.2: Layout produtivo (Fonte: Multiflow SA).

4.3. Análise global de paragens do sistema

Visando a compreender o comportamento dos equipamentos reparáveis da linha de produção em estudo e de verificar quais os que mais contribuem para o aumento do número de falhas, é essencial realizar uma análise ao histórico de dados dos mesmos. Procede-se assim à identificação dos equipamentos, dos tipos de falha, das datas de ocorrência e dos tempos de reparação. Assim sendo é possível estabelecer prioridades na tomada de decisão, analisando com maior atenção as principais causas do número de falhas.

É importante referir que durante o período de observação é possível que tenham ocorrido alterações na evolução do comportamento dos equipamentos, devido não só a alterações que tenham ocorrido ao nível da manutenção, como também ao nível da implementação de novos sistemas. Durante este período foram feitas várias acções de manutenção preventiva, sendo

de esperar que o comportamento dos equipamentos se tenha alterado quanto ao risco de falha e evolução da taxa de falhas.

4.3.1. Análise do número de paragens

Analisando o histórico de dados das paragens da linha de produção, verificou-se a ocorrência de 8116 paragens durante o ano de 2010, das quais 226 não se deveram a paragens devidas aos equipamentos mas sim paragens devido a:

- Materiais Defeituosos;
- Limpezas Finais;
- Perda de Velocidade;
- Falta de Materiais;
- Paletização Metral;
- Outras Falhas.

Estas paragens serão denominadas por “Outras Causas”.

Com a informação mensal das frequências de modos de falha é possível verificar a evolução, ao longo do ano, do número de paragens da linha de produção, destacando-se um pico de paragens no mês de Agosto.

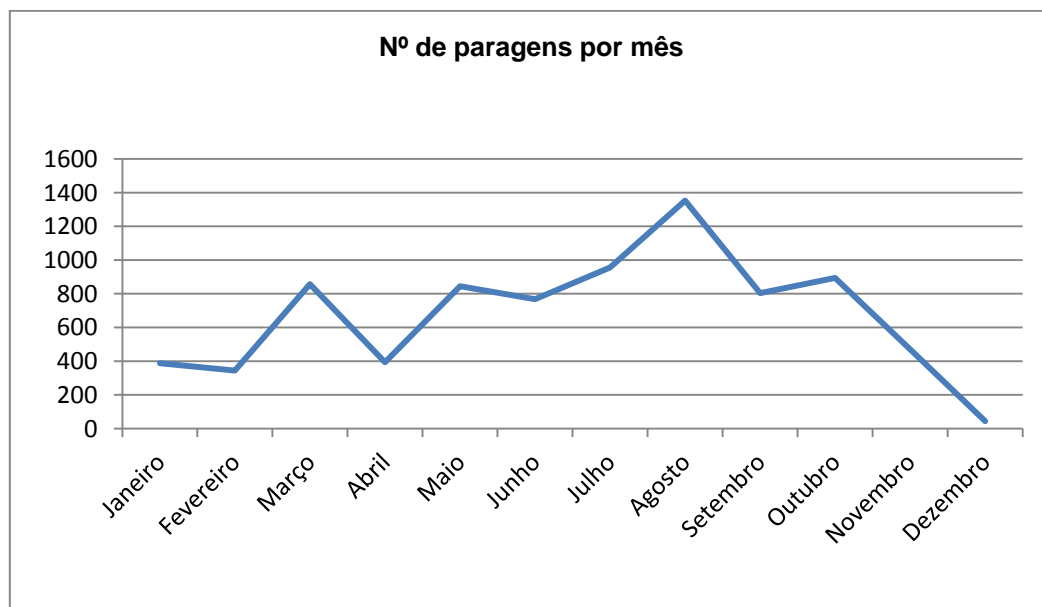


Figura 4.3: Número de paragens da linha de produção no ano de 2010.

No Anexo II.1 é possível visualizar o número de paragens mensal de cada equipamento, do ano em estudo.

É possível observar, pela figura 4.4, quais as causas que mais contribuem para as paragens da linha de produção.

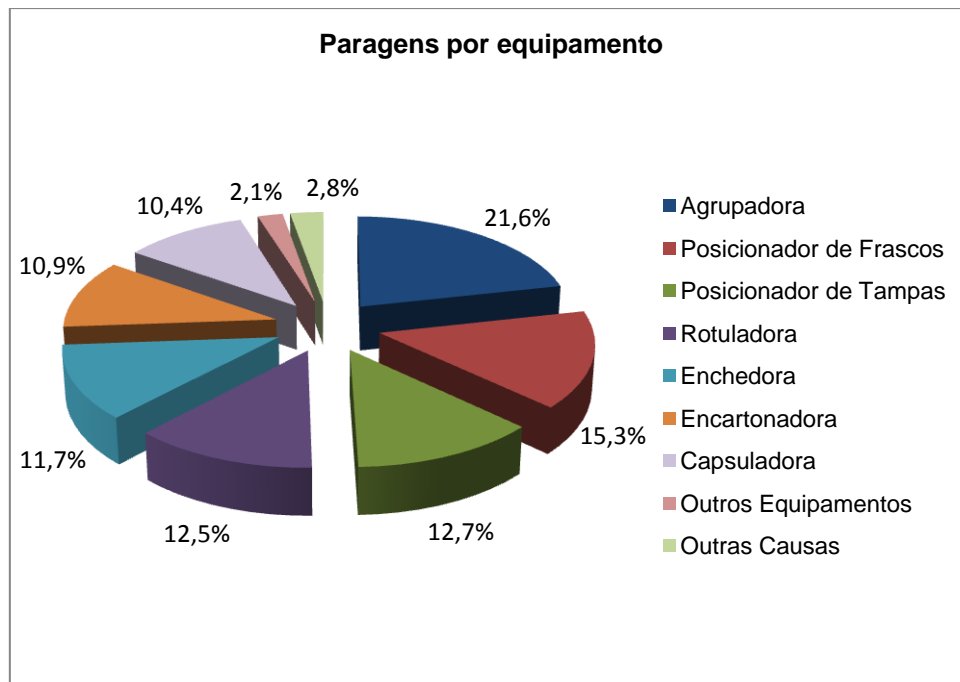


Figura 4.4: Paragens da linha de produção.

Verifica-se que o maior número de paragens da linha se deve ao equipamento Agrupadora, com 21,6% do total das paragens.

Uma das ferramentas utilizadas quando se efectua uma análise estatística sobre a fiabilidade de um sistema é o diagrama de Pareto. Através desta representação esquemática é possível encontrar os sistemas que mais contribuem para o incorrecto funcionamento da linha de produção.

Desta forma recorreu-se ao Diagrama de Pareto, analisando apenas as paragens devidas aos equipamentos.

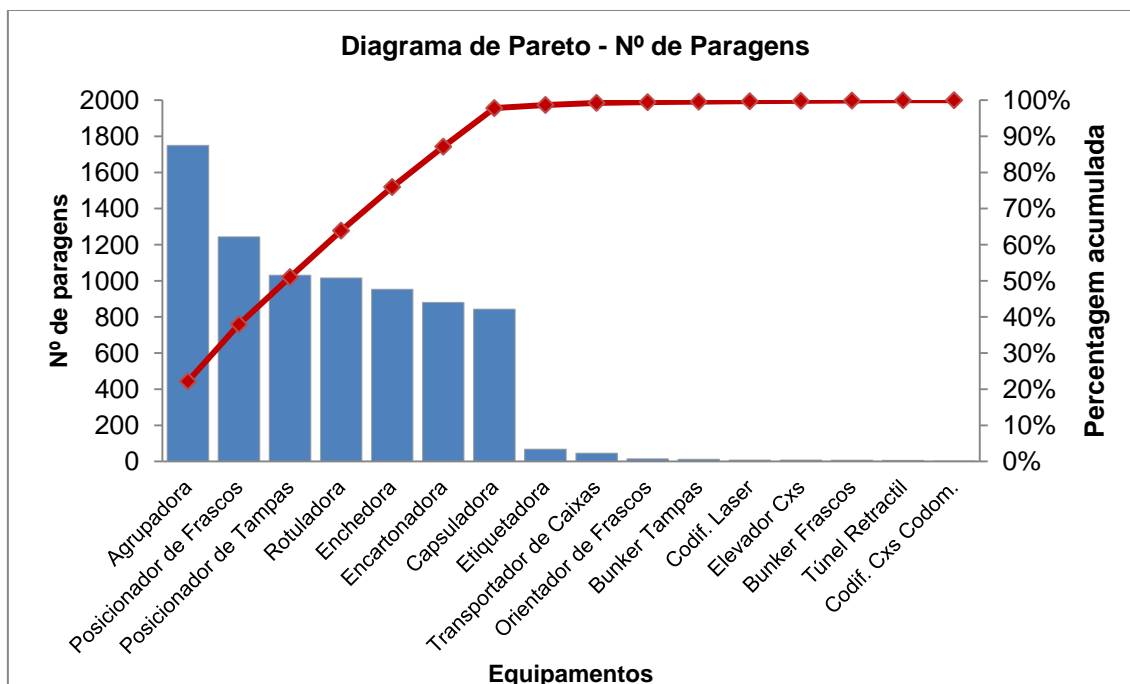


Figura 4.5: Diagrama de Pareto – Nº de paragens.

É de notar que cerca de 80% das paragens que ocorrem na linha de produção são devidas às paragens da Agrupadora, do Posicionador de Frascos, do Posicionador de Tampas, da Rotuladora e da Enchedora.

De forma a compreender se estes equipamentos são efectivamente os mais críticos da linha de produção torna-se importante fazer uma análise não só aos tempos de paragem de cada equipamento como também, analisar as causas dessas paragens.

4.3.2. Análise dos tempos de paragens

É importante que os equipamentos estejam disponíveis, o máximo tempo possível, para produção, minimizando os tempos não produtivos. Estes tempos podem ser resultado de vários factores, sendo que, no âmbito deste estudo, se considera que os tempos de não produção são devido a paragens dos equipamentos e a “Outras Causas”.

Para o ano em análise contabilizou-se ao total 48,38 dias de paragens da linha de produção, em que 44,99 dias foram devidos aos equipamentos e 3,39 dias foram devidos a paragens por “Outras Causas”.

Na tabela 4.1 encontram-se representados os tempos de paragem e os tempos médios de paragem, em dias, dos vários equipamentos.

Tabela 4.1: Tempos de paragem e tempos médios de paragem, dos vários equipamentos.

Equipamento	Tempo de paragem (Dias)	Tempo médio de paragem (Dias)
Agrupadora	11,15	0,006
Posicionador de Frascos	6,25	0,005
Enchedora	6,11	0,006
Encartonadora	5,50	0,006
Rotuladora	5,14	0,005
Capsuladora	4,38	0,005
Posicionador de Tampas	4,28	0,004
Transp. Cxs	0,73	0,016
Etiquetadora	0,59	0,009
Orientador de Frascos	0,17	0,012
Túnel Retractil	0,17	0,028
Elevador Cxs	0,16	0,020
Codif. Laser	0,14	0,017
<i>Bunker Tampas</i>	0,12	0,010
<i>Bunker Frascos</i>	0,07	0,010
Codif. Cxs Codom.	0,02	0,012

É possível verificar que os tempos de paragem mais elevados da linha são devidos à Agrupadora, ao Posicionador de Frascos, à Enchedora, à Encartonadora e à Rotuladora.

Verificar-se ainda que os tempos médios de paragem mais elevados são referentes ao Túnel Retractil, ao Elevador de Caixas e ao Codificador Laser. Estes tempos devem-se ao facto destes equipamentos, apesar de terem um número inferior de falhas, quando falham, estas demoram mais tempo a ser resolvidas, verificando-se tempos médios de paragem elevados.

No caso do Túnel Retractil e do Elevador de Caixas, o elevado tempo médio de paragem justifica-se pelo facto de o acesso aos componentes em falha ser difícil.

No caso do Codificador Laser, se as reparações não estiverem ao alcance da manutenção é solicitada a intervenção da manutenção da marca do equipamento. Neste caso o equipamento é substituído por outro em reserva até estar reparado.

Com o recurso ao Diagrama de Pareto é possível analisar que os equipamentos, que contribuem para cerca de 80% do tempo total de paragens da linha de produção, são a Agrupadora, o Posicionador de Frascos, a Enchedora, a Encartonadora, a Rotuladora e a Capsuladora, como se pode observar na figura 4.6.

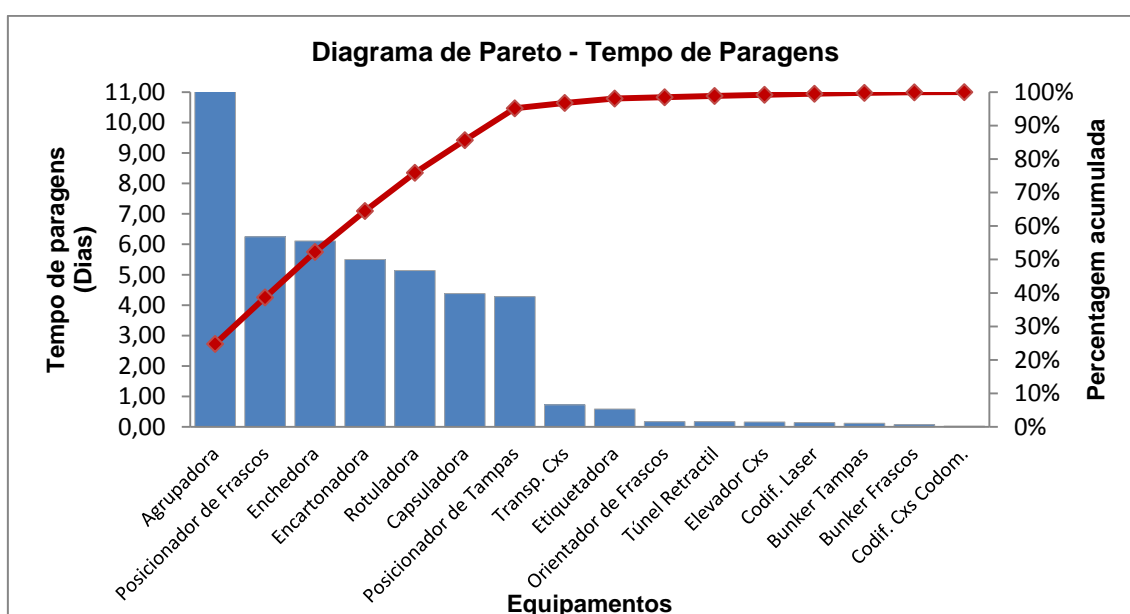


Figura 4.6: Diagrama de Pareto – Tempo de paragens.

4.3.3. Análise das causas das paragens

Com o objectivo de realizar um plano de manutenção preventivo eficaz, é essencial encontrar a origem das causas das paragens dos equipamentos.

As paragens que ocorreram na linha de produção têm sempre associados sintomas e causas. Essas paragens tiveram origem nas seguintes causas:

- Encravamento;
- Reabastecimento Materiais;
- Falhas:

- Mecânica;
- Eléctrica;
- Bomba Alimentação;
- Pneumática.
- Outras Causas;
- Outras.

Em que as “Outras Causas”, como referido anteriormente mas agora mais pormenorizado, foram devidas a:

- Materiais defeituosos:
 - Caixas Defeituosas;
 - Frascos Defeituosos;
 - Rótulos Defeituosos;
 - Tampas Defeituosas.
- Limpeza final:
 - Limpeza dos Equipamentos.
- Perda de Velocidade:
 - Outros.
- Falta de Materiais:
 - Falha no Abastecimento;
 - Falta de Base;
 - Falta de Frascos;
 - Falta de Tampas;
 - Falta de Rótulos.
- Paletização Metral:
 - Encravamento.
- Outras falhas:
 - Falha de Energia Eléctrica.

As causas “Outras”, por serem menos expressivas, foram agrupadas tendo sido devidas a:

- Base Fora de Especificação;
- Encravamento por Materiais Defeituosos;
- Erro de Operação.

As causas das paragens encontram-se representadas na seguinte 4.7.

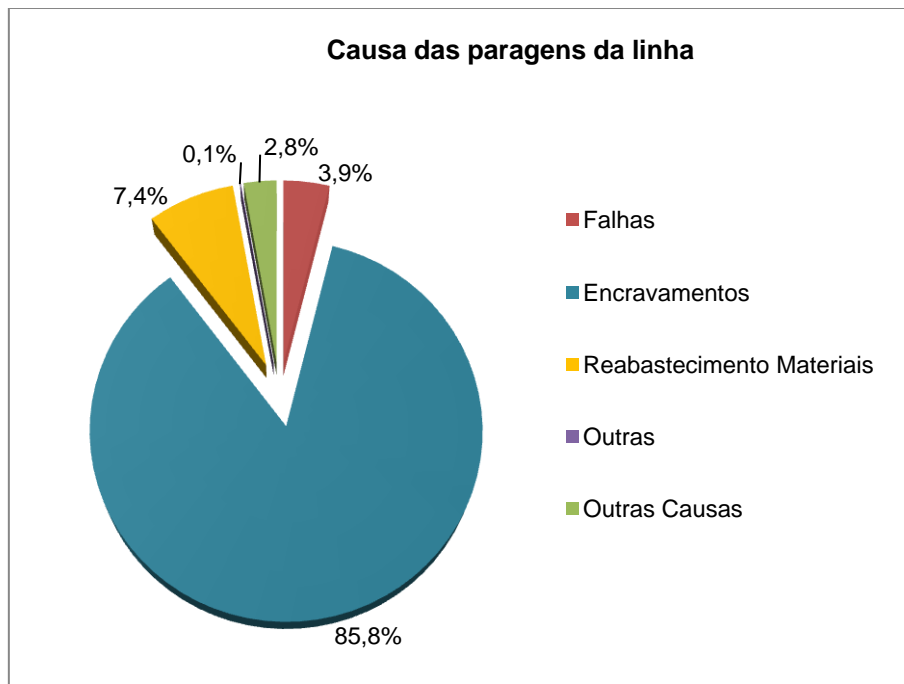


Figura 4.7: Causa das paragens dos vários equipamentos.

Como é possível observar, a causa que mais contribui para a paragem da linha é a por Encravamento, seguida da causa por Reabastecimento de Materiais. De uma forma menos frequente, ocorreram as paragens por Falhas.

4.4. Análise global de falhas do sistema

4.4.1. Análise do número de falhas

O estudo da presente dissertação incide na área da gestão da manutenção assim, o seu principal objectivo passa pela redução da percentagem de falhas, ou seja, das paragens por intervenções de manutenção correctiva, deixando a percentagem causada pelos Encravamentos e Reabastecimento Materiais para trabalhos futuros.

A importância de uma falha não é tanto pelas suas próprias características mas sim, pelas consequências que esta origina no contexto onde o equipamento se encontra. Desta forma é também essencial analisar os equipamentos do ponto de vista dos seus indicadores de desempenho de manutenção pois, permitem dar indicação relativa a uma determinada característica ou acontecimento.

É importante conhecer a evolução da sequência das falhas de cada equipamento, de forma a compreender se a taxa de falhas é constante ou se apresenta tendência.

Com a informação mensal das frequências de falhas dos equipamentos é possível verificar a evolução, ao longo do ano, do número de falhas que ocorreram na linha de produção.

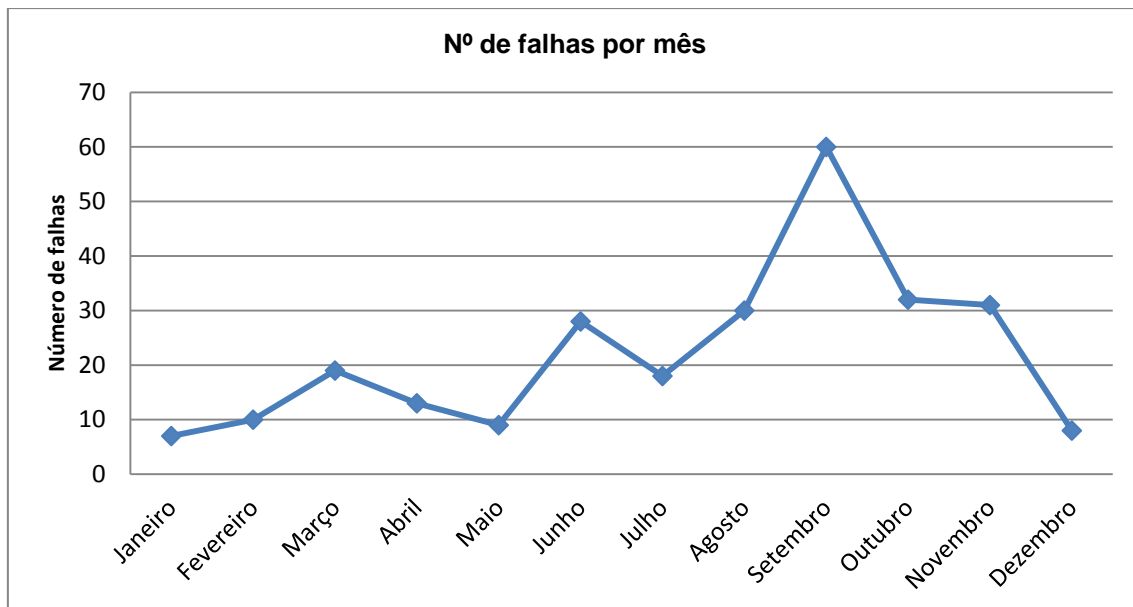


Figura 4.8: Número de falhas por mês.

Como se pode verificar, destaca-se um pico de falhas no mês de Setembro.

O número de falhas dos equipamentos é algo que conduz a um aumento da função de risco do sistema como tal, torna-se interessante analisar os vários equipamentos, no sentido de perceber, quais os que mais contribuem para esse aumento.

Pela figura 4.9, é possível observar, quais os equipamentos que apresentam mais falhas na linha de produção.

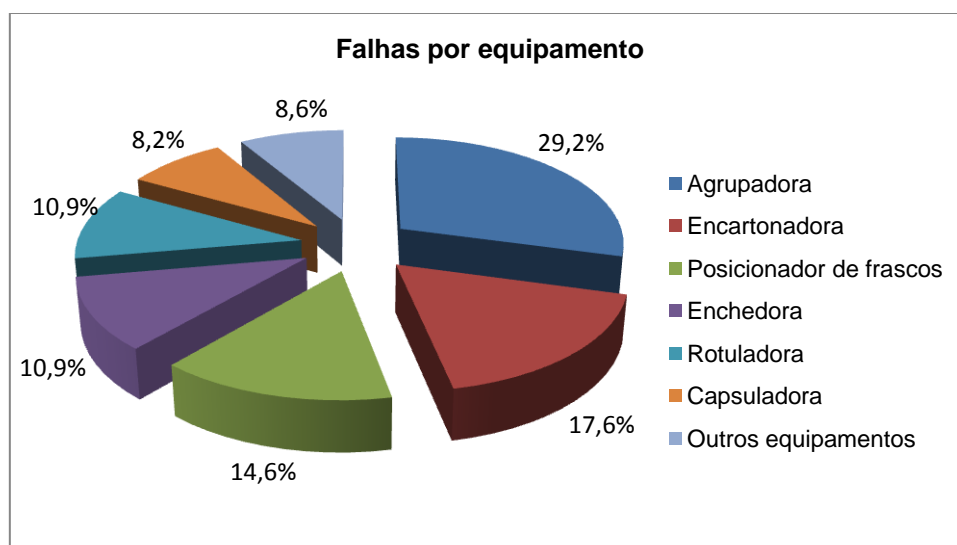


Figura 4.9: Percentagem de falhas da linha de produção.

Como se pode verificar, o equipamento que apresenta o maior número de falhas da linha de produção é a Agrupadora, com cerca de 29,2% das falhas.

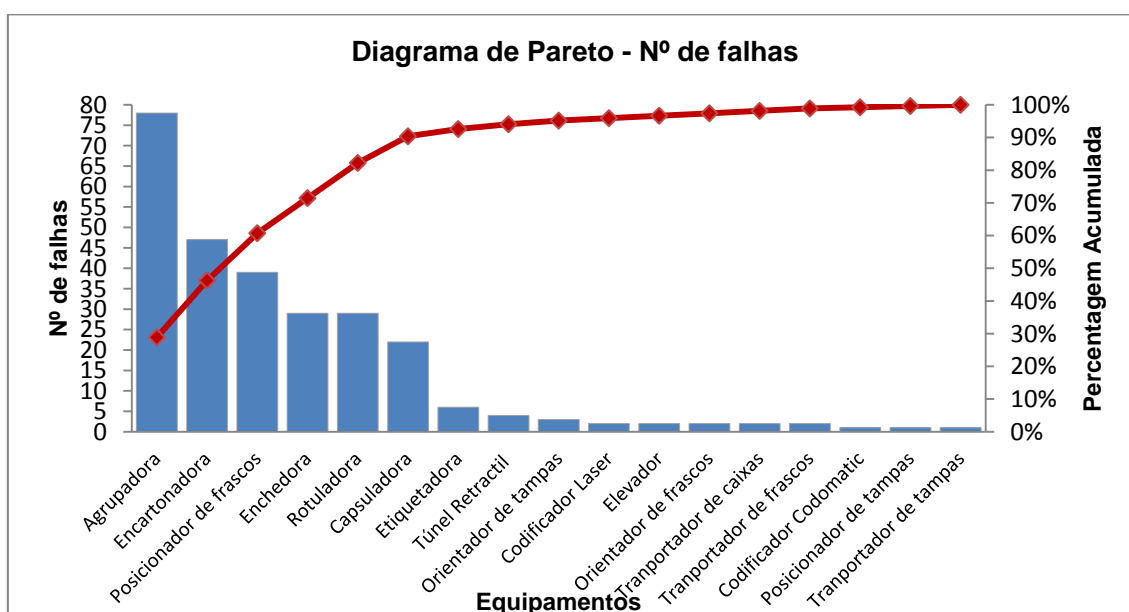


Figura 4.10: Diagrama de Pareto – Nº de falhas.

Com o recurso ao Diagrama de Pareto, é possível analisar que, os equipamentos que contribuem para cerca de 80% das falhas da linha de produção são a Agrupadora, a Encartonadora, o Posicionador de Frascos, a Enchedora e a Rotuladora.

Conclui-se desta forma que o equipamento Agrupadora é o que mais contribui para as paragens da linha de produção, representando também o maior tempo de paragem da mesma,

e ainda, é aquele que possui o maior número de falhas, solicitando desta forma a intervenção da manutenção.

4.4.2. Análise do tempo de reparação das falhas

Após a análise do número de falhas dos equipamentos e tendo-se chegado à conclusão de quais os que mais contribuem para estas, analisou-se o tempo de reparação de cada equipamento.

É importante que os equipamentos estejam disponíveis, o máximo tempo possível, para produção, daí ser essencial que a reparação do equipamento seja eficiente e que o tempo de reparação seja o mais curto possível, minimizando desta forma os tempos de não produção.

Ao total contabilizou-se 9 dias de tempo total de reparação na linha de produção para o ano em análise.

Com o recurso ao Diagrama de Pareto, é possível verificar que, os equipamentos que contribuem para cerca de 80% do tempo total de reparação dos equipamentos da linha de produção são a Agrupadora, a Encartonadora, o Posicionador de Frascos, a Enchedora e a Rotuladora.

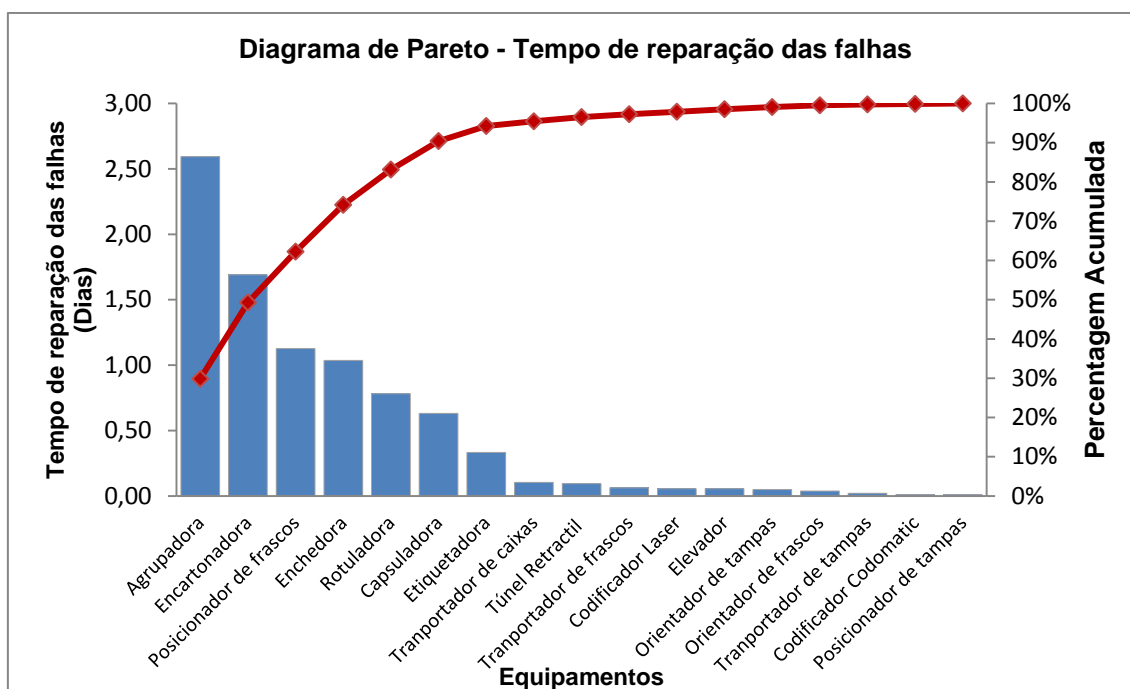


Figura 4.11: Diagrama de Pareto - Tempo de reparação das falhas.

4.5. Análise estatística global de falhas do sistema

Foram recolhidos os dados necessários e com base na estatística amostral (2.13), aplicou-se o teste de *Laplace* à linha em estudo, de forma a encontrar o equipamento que revele ser o mais crítico em termos de fiabilidade. Desta forma, para o ano de 2010, obtiveram-se os seguintes dados para o cálculo da estatística de teste.

Tabela 4.2: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo do teste de *Laplace* da linha L10.

Linha L10	
$\sum T_i$	55833,47
nf	264
Duração do ensaio (Dias)	365
Z_0	4,47
$\alpha/2$	0,05
$Z_{0,05}$	1,65
Taxa de falhas	Não constante

Para a linha L10, o teste de *Laplace* conduz a um valor de $Z_0 = 4,47 > Z_{0,05} = 1,65$ pelo que se rejeita a hipótese nula ($H_0 : PPH$), para um nível de significância de 10%. Conclui-se que se está perante um Processo de *Poisson* Não Homogéneo, com taxa de falhas não constante, neste caso, taxa de falhas crescente. Neste caso, os tempos entre as falhas revelam tendência, sendo que tendem a diminuir ao longo do tempo, evidenciando degradação do sistema, deficiente manutenção ou mesmo má operacionalidade do processo produtivo.

Neste caso a modelação pode seguir o modelo de *Crow*, descrito no Capítulo 2. O intervalo de tempo consiste no período em estudo inicial, pelo que $\tau = 365$ dias. Durante este período foram registadas 264 falhas no equipamento.

A estimação analítica é obtida através do método da máxima verosimilhança, no qual se obtêm, de acordo com as expressões (2.20) e (2.21), $\beta^* = 1,41$ e $\lambda^* = 0,06$.

Assim, segundo o modelo de *Crow* a taxa de falhas será representada do seguinte modo, obtido da expressão (2.19):

$$\rho(365) = \lambda^* \beta^* \tau^{(\beta^*-1)} = 0,06 \times 1,41 \times 365^{(1,41-1)} = 1,02$$

Dado que se trata de uma taxa de falhas crescente, não faz sentido calcular o *MTBF*, mas sim o tempo médio cumulativo entre falhas (*CMTBF*), que através da expressão (2.22), obtêm-se o seguinte resultado:

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(\tau)} = 0,98 \text{ dias}$$

Ao apresentar um *CMTBF* de 0,98 dias significa que se dá, aproximadamente, uma falha todos os dias.

Como complemento ao teste de *Laplace*, é sempre possível apresentar a respectiva análise gráfica.

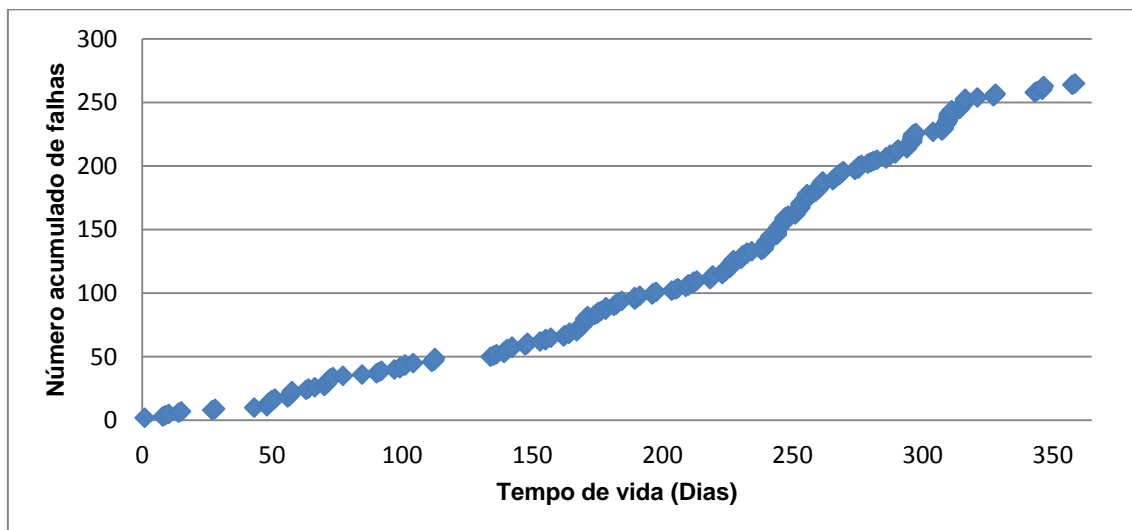


Figura 4.12: Representação gráfica do Teste de *Laplace* – L10.

Posteriormente aplicou-se o teste de *Laplace* aos equipamentos críticos da linha (Agrupadora, Encartonadora, Posicionador de Frascos, Enchedora e Rotuladora), por representarem 80% das falhas da linha de produção.

Tabela 4.3: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo do teste de *Laplace* da Agrupadora.

Equipamento AGRUPADORA	
$\sum T_i$	16360,41
nf	77
Duração do ensaio (Dias)	365
Z_0	2,50
$\alpha/2$	0,05
$Z_{0.05}$	1,65
Taxa de falhas	Não constante

No caso do equipamento Agrupadora, o teste de *Laplace* conduz a um valor de $Z_0 = 2,50 > Z_{0.05} = 1,65$ pelo que se rejeita a hipótese nula ($H_0 : PPH$), para um nível de significância de 10%. Conclui-se que se está perante um Processo de *Poisson* Não Homogéneo, com taxa de falhas não constante, neste caso, taxa de falhas crescente. Neste caso, os tempos entre as falhas revelam tendência, sendo que tendem a diminuir ao longo do tempo, evidenciando degradação do sistema, deficiente manutenção ou mesmo má operacionalidade do processo produtivo.

Neste caso a sua modelação pode seguir o modelo de *Crow*. O intervalo de tempo do período em estudo inicial é dado por $\tau = 365$ dias, em que durante este período foram registadas 77 falhas no equipamento. A estimação analítica é obtida através do método da máxima verosimilhança, obtendo-se $\beta^* = 1,30$ e $\lambda^* = 0,04$.

Assim, a taxa de falhas é dada por:

$$\rho(365) = \lambda^* \beta^* \tau^{(\beta^*-1)} = 0,04 \times 1,30 \times 365^{(1,30-1)} = 0,27$$

O tempo médio cumulativo entre falhas (CMTBF) é dado por:

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(\tau)} = 3,64 \text{ dias}$$

Ao apresentar um CMTBF de 3,64 dias significa que se dá uma falha neste equipamento a cada 4 dias, aproximadamente.

Como complemento ao teste de *Laplace*, é sempre possível apresentar a respectiva análise gráfica.

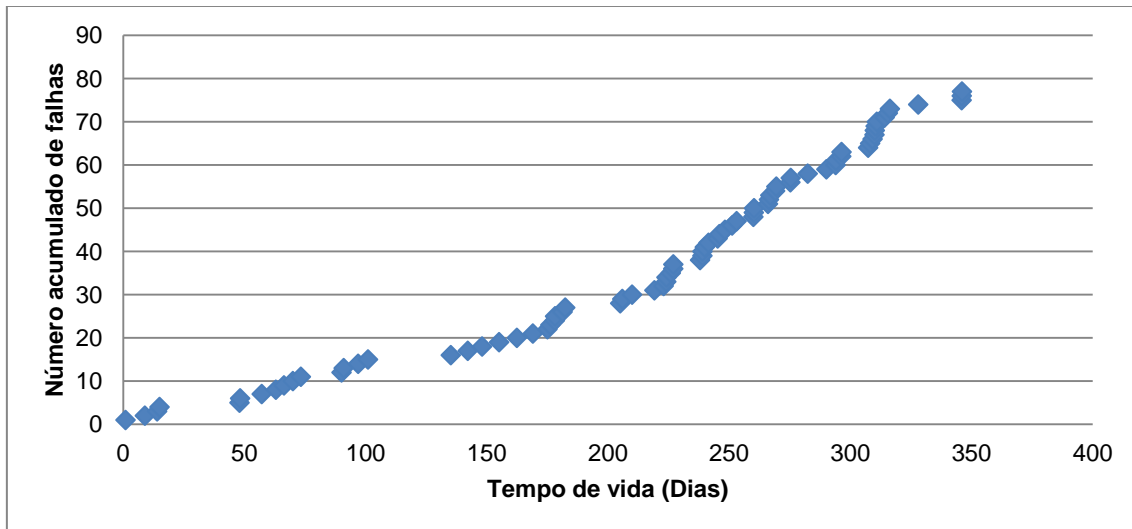


Figura 4.13: Representação gráfica do Teste de *Laplace* – Agrupadora.

Tabela 4.4: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo do teste de *Laplace* da Encartonadora.

Equipamento ENCARTONADORA	
$\sum T_i$	6984,61
nf	46
Duração do ensaio (Dias)	365
Z_0	-1,97
$\alpha/2$	0,05
$Z_{0,05}$	1,65
Taxa de falhas	Não constante

Para o equipamento Encartonadora, o teste de *Laplace* conduz a um valor de $Z_0 = -1,97 < Z_{0,05} = -1,65$ pelo que se rejeita a hipótese nula ($H_0 : PPH$), para um nível de significância de 10%. Conclui-se que se está perante um Processo de *Poisson* Não Homogéneo, com taxa de falhas não constante, neste caso, taxa de falhas decrescente, significando que a fiabilidade do sistema se encontra a melhorar ao longo do tempo.

Neste caso a sua modelação deve seguir o modelo de *Crow*. O intervalo de tempo é definido por $\tau = 365$ dias, tendo sido registadas 46 falhas no equipamento. A estimação analítica é obtida através do método da máxima verosimilhança, obtendo-se $\beta^* = 0,83$ e $\lambda^* = 0,35$.

Assim, a taxa de falhas será representada do seguinte modo:

$$\rho(365) = \lambda^* \beta^* \tau^{(\beta^*-1)} = 0,35 \times 0,83 \times 365^{(0,83-1)} = 0,10$$

O tempo médio cumulativo entre falhas, é dado por:

$$CMTBF = \frac{1}{\rho(\tau)} = 9,62 \text{ dias}$$

A Encartonadora apresenta um *CMTBF* de 9,62 dias, sendo que aproximadamente a cada 10 dias acontece uma falha neste equipamento.

Como complemento ao teste de *Laplace*, deve-se também apresentar a representação gráfica da ocorrência de falhas ao longo do tempo.

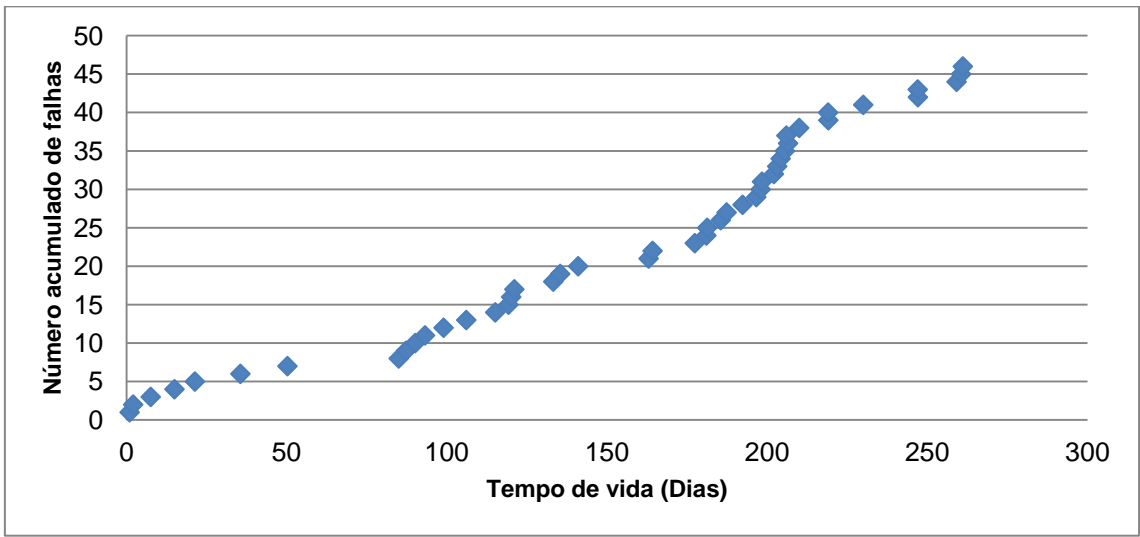


Figura 4.14: Representação gráfica do Teste de *Laplace* – Encartonadora.

Tabela 4.5: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo do teste de *Laplace* do Posicionador de Frascos.

Equipamento POSIC. FRASCOS	
$\sum T_i$	7909,41
nf	38
Duração do ensaio (Dias)	365
Z0	1,50
$\alpha/2$	0,05
Z _{0.05}	1,65
Taxa de falhas	Constante

Relativamente ao equipamento Posicionador de Frascos pode-se constatar que a taxa de falhas revela-se constante, uma vez que a estatística de teste do equipamento é inferior a $Z_{0,05} = 1,65$, ou seja, $Z_0 = 1,500 < Z_{0,05} = 1,65$, pelo que não se rejeita a hipótese nula ($H_0 : PPH$), para um nível de significância de 10%.

Neste caso, é relevante calcular o valor do *MTBF*, tendo-se obtido, para 95% dos casos, a ocorrência de uma falha a cada 9,61 dias. Pode assim concluir-se que aproximadamente a cada 10 dias ocorre uma falha no equipamento Posicionador de Frascos.

Como complemento ao teste de *Laplace*, é possível apresentar a respectiva análise gráfica.

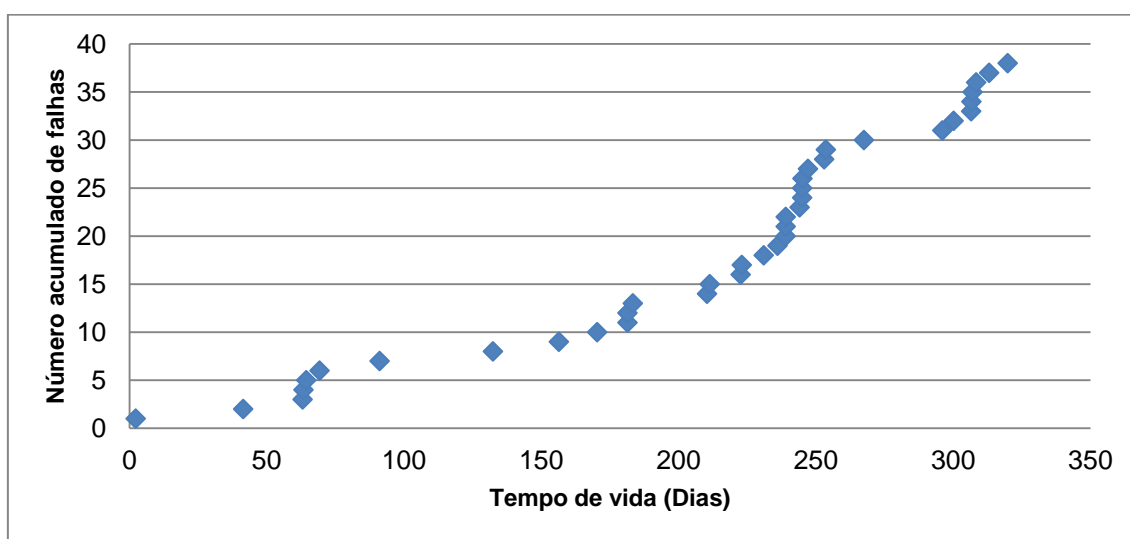


Figura 4.15: Representação gráfica do Teste de *Laplace* – Posicionador de Frascos.

Tabela 4. 6: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo do teste de *Laplace* da Enchedora.

Equipamento ENCHEDORA	
$\sum T_i$	5038,50
nf	28
Duração do ensaio (Dias)	365
Z_0	-0,13
$\alpha/2$	0,05
$Z_{0,05}$	1,65
Taxa de falhas	Constante

Relativamente ao equipamento Enchedora pode-se constatar que a taxa de falhas revela-se constante, uma vez que a estatística de teste do equipamento é inferior a $Z_{0,05} = 1,65$, ou seja,

$Z_0 = -0,13 < Z_{0,05} = 1,65$, pelo que não se rejeita a hipótese nula ($H_0 : PPH$), para um nível de significância de 10% .

Neste caso, é relevante calcular o valor do *MTBF*, tendo-se obtido, para 95% dos casos, a ocorrência de uma falha a cada 13,04 dias. Pode assim concluir-se que, aproximadamente, a cada 14 dias ocorre uma falha no Enchedora.

Como complemento ao teste de *Laplace*, deve-se também apresentar a representação gráfica da ocorrência de falhas ao longo do tempo.

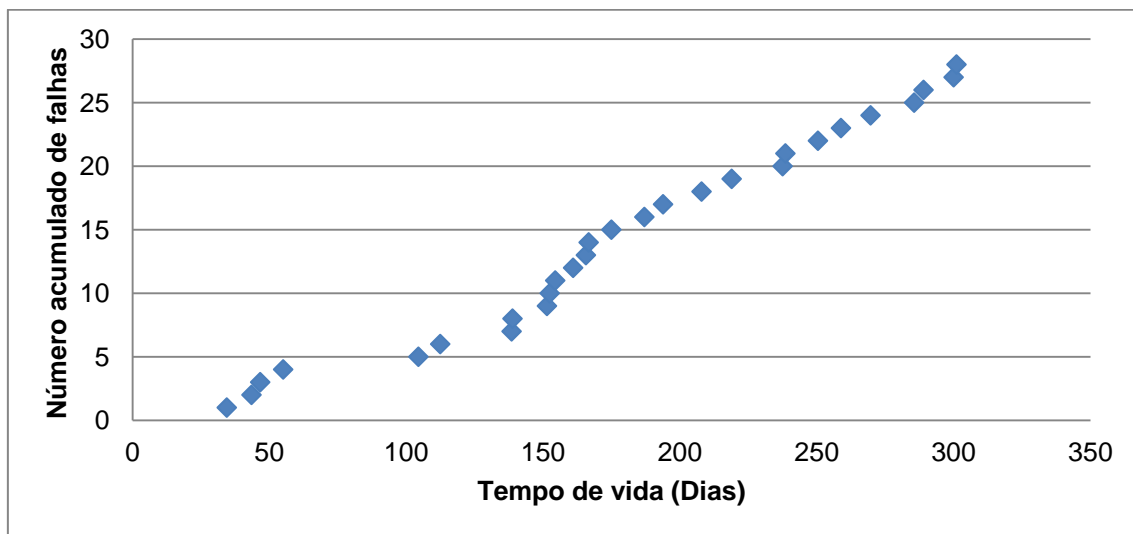


Figura 4.16: Representação gráfica do Teste de *Laplace* – Enchedora

Tabela 4.7: Quadro síntese dos parâmetros necessários ao cálculo do teste de *Laplace* da Rotuladora.

Equipamento ROTULADORA	
$\sum T_i$	5625,73
nf	28
Duração do ensaio (Dias)	365
Z_0	0,92
$\alpha/2$	0,05
$Z_{0,05}$	1,65
Taxa de falhas	Constante

Para o equipamento Rotuladora, o teste de *Laplace* conduz a um valor de $Z_0 = 0,92 < Z_{0,05} = -1,65$ pelo que não se rejeita a hipótese nula ($H_0 : PPH$), para um nível de significância de 10%.

Neste caso, é relevante calcular o valor do *MTBF*, tendo-se obtido, para 95% dos casos, a ocorrência de uma falha a cada 13,04 dias. Pode assim concluir-se que aproximadamente a cada 14 dias ocorre uma falha no equipamento.

Como complemento ao teste de *Laplace*, é sempre possível apresentar a respectiva análise gráfica.

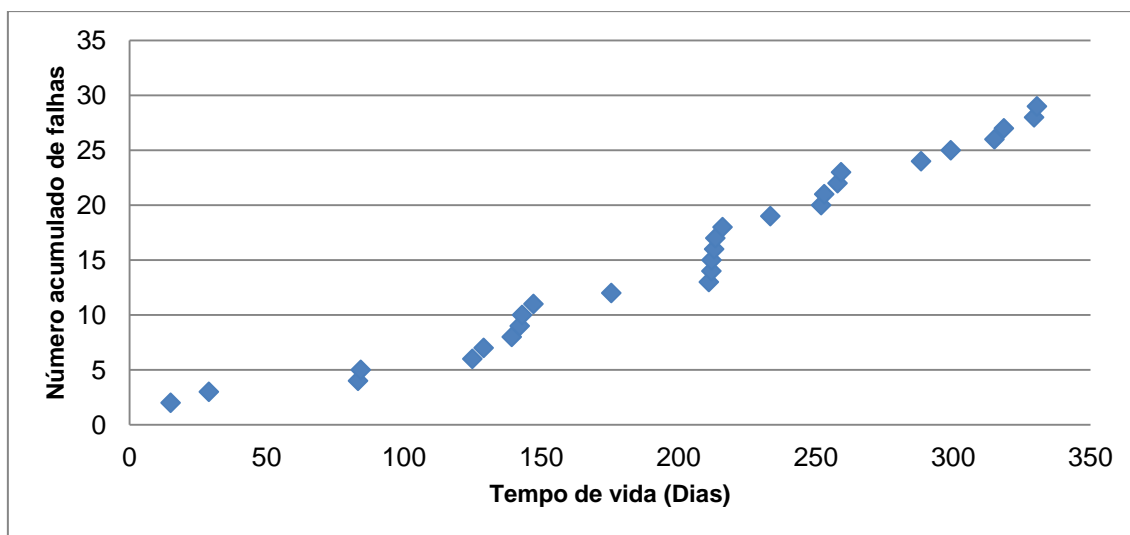


Figura 4.17: Representação gráfica do Teste de *Laplace* – Rotuladora.

Na tabela 4.8 é possível observar, em síntese, os valores obtidos para a estatística de teste da linha e dos respectivos equipamentos críticos. A tendência dos dados é apresentada através da taxa de falhas e do valor do tempo médio entre falhas.

Tabela 4.8: Resultado do teste de *Laplace*, *MTBF* e *CMTBF*.

Equipamento	Z_0	Taxa de falhas	<i>MTBF</i> (Dias)	<i>CMTBF</i> (Dias)
Agrupadora	2,50	Crescente	-	3,64
Encartonadora	-1,97	Decrescente	-	9,62
Posicionador de Frascos	1,50	Constante	9,61	-
Enchedora	-0,13	Constante	13,04	-
Rotuladora	0,92	Constante	13,04	-
L10	4,47	Crescente	-	0,98

Torna-se desta forma essencial uma actuação preventiva nestes equipamentos, com a finalidade de que as falhas sejam controladas. É ainda fundamental a realização de

intervenções nos restantes equipamentos, com uma periodicidade maior quando comparadas com os equipamentos críticos, de modo a abranger toda a linha de produção.

4.6. Análise da Disponibilidade do sistema

Um outro indicador de interesse para a manutenção e de grande importância é a disponibilidade dos equipamentos, o qual é calculado com base no *MTBF* e no *MTTR* dos equipamentos e pode ser determinado através da expressão (2.4).

Na tabela 4.9 são apresentados os valores do *MTTR* e da disponibilidade dos equipamentos em análise e consequentemente a estimativa da sua disponibilidade.

Tabela 4.9: Cálculo da disponibilidade com base no *MTBF/CMTBF* e *MTTR*.

	<i>MTBF</i> (Dias)	<i>CMTBF</i> (Dias)	<i>MTTR</i> (Dias)	Disponibilidade
Agrupadora	-	3,64	0,03	99,08%
Encartonadora	-	9,62	0,04	99,62%
Posicionador de Frascos	9,61	-	0,03	99,70%
Enchedora	13,04	-	0,04	99,72%
Rotuladora	13,04	-	0,04	99,70%
L10	-	0,98	0,03	96,74%

Como se pode constatar, o equipamento Agrupadora é aquele que apresenta o indicador mais crítico de disponibilidade. A baixa disponibilidade deste equipamento pode ter origem no facto de apresentar um elevado número de falhas.

Capítulo 5 – Análise e modelação das falhas do equipamento crítico

5.1. Planeamento da manutenção

preventiva

5.2. Plano de manutenção

preventivo

5.1. Planeamento da manutenção preventiva

Neste capítulo, pretende-se definir um plano de manutenção preventivo para o equipamento que revelou maior taxa de falhas, ou seja, a Agrupadora. De forma a estabelecer as acções de manutenção preventiva definindo as suas periodicidades, ajustadas por distribuições estatísticas, utiliza-se a distribuição de *Weibull* recorrendo a um *software* adequado, como por exemplo o *STATISTICA*.

O recurso à distribuição de *Weibull* deve-se ao facto de esta ser bastante flexível podendo ser ajustada a uma grande variedade de distribuições de probabilidade. Dada a sua capacidade de descrever o comportamento do sistema, quer este demonstre uma taxa de falhas constante, crescente ou decrescente, contribuindo para a análise dos tempos entre falhas (Nelson, 2004).

5.1.1. Com base na fiabilidade do equipamento crítico

Após a identificação da Agrupadora como o equipamento crítico do sistema reparável em estudo é necessário efectuar o cálculo da periodicidade de intervenções de manutenção preventiva. Desta forma, o tempo desde a última falha será ajustado à distribuição estatística de *Weibull*.

Durante este período registaram-se 77 falhas na Agrupadora, como apresentado no Anexo III.1, mas foram apenas consideradas 26 ocorrências válidas para a modelação da distribuição de probabilidade de falha do equipamento crítico.

Para efeito prático da modelação de distribuição de probabilidade de falha considerou-se como intervalo mínimo desde a última falha um período de 4 a 5 dias. Para se chegar a este valor foi necessário analisar um conjunto de factores, como:

- Tipo de equipamento da linha;
- Tipo de falhas identificadas;
- Registo de falhas anuais;
- Gamas de manutenção a propor;
- Formação da equipa de manutenção.

Considerou-se um intervalo de confiança para 95% dos casos, em relação aos estimadores dos parâmetros de forma e de escala das características da Agrupadora.

O ajustamento à distribuição de *Weibull* será feito em relação a dois dos seus parâmetros. O parâmetro de forma (β) e o parâmetro de escala (η), pelo método da máxima verosimilhança e com recurso às falhas correspondentes ao período em análise.

A tabela 5.1 mostra os intervalos de confiança para 95% dos casos, para ambos os parâmetros, limitados pelo limite inferior e pelo limite superior de confiança.

Tabela 5.1: Parâmetros de *Weibull* para um intervalo de confiança de 95%.

	Valor do parâmetro	Erro padrão	Limite Inferior de Confiança (LIC) -95%	Limite Inferior de Confiança (LSC) 95%	Covariância
Parâmetro de forma (β)	1,56	0,21	1,19	2,04	
Parâmetro de escala (η)	12,07	1,62	9,28	15,69	0,12

Com a representação gráfica que apresenta os valores iniciais e as respectivas curvas do intervalo de confiança, é possível verificar que os valores calculados se encontram bem ajustados ao comportamento do equipamento Agrupadora.

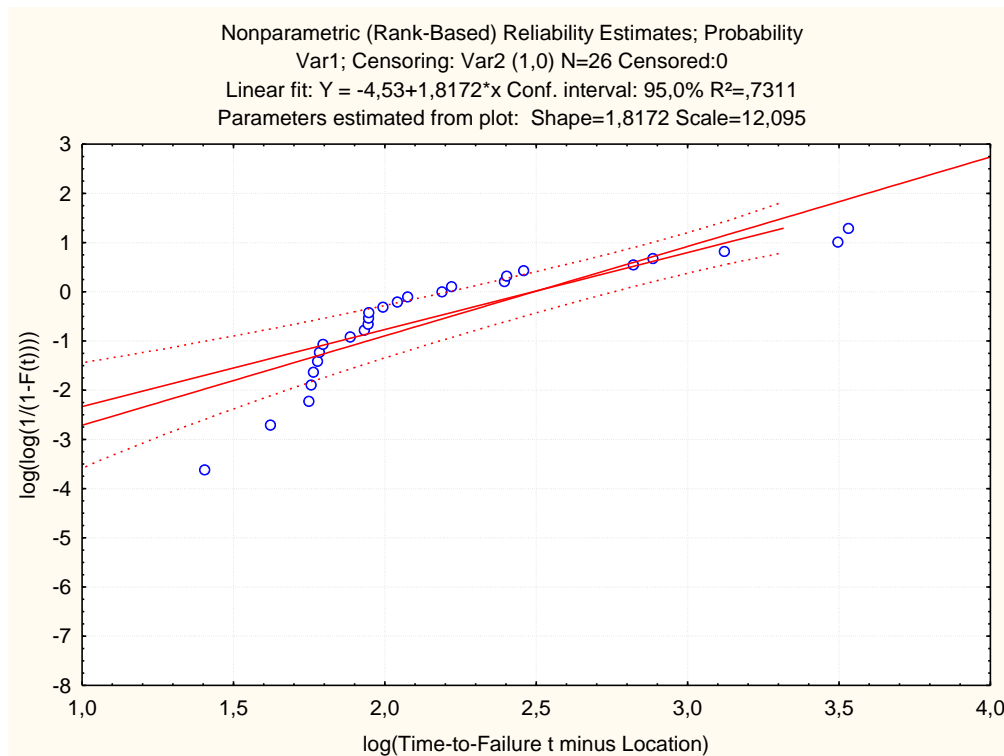


Figura 5.1: Ajustamento, método não paramétrico do sistema Agrupadora (Fonte: Statística 7).

De forma a garantir a fiabilidade estimada ou desejada em 95% dos casos, utilizou-se o limite inferior e superior do intervalo de confiança, com o intuito de determinar o intervalo de tempo ideal entre tarefas de manutenção preventiva.

5.1.1.1. Limite inferior de confiança

Utilizando os valores do limite inferior de confiança na expressão (2.25) é possível obter a função de fiabilidade da Agrupadora,

$$R(t; 1,19; 9,28) = e^{-\left(\frac{t}{9,28}\right)^{1,19}}$$

A função pode também ser representada graficamente, de acordo com a figura 5.2.

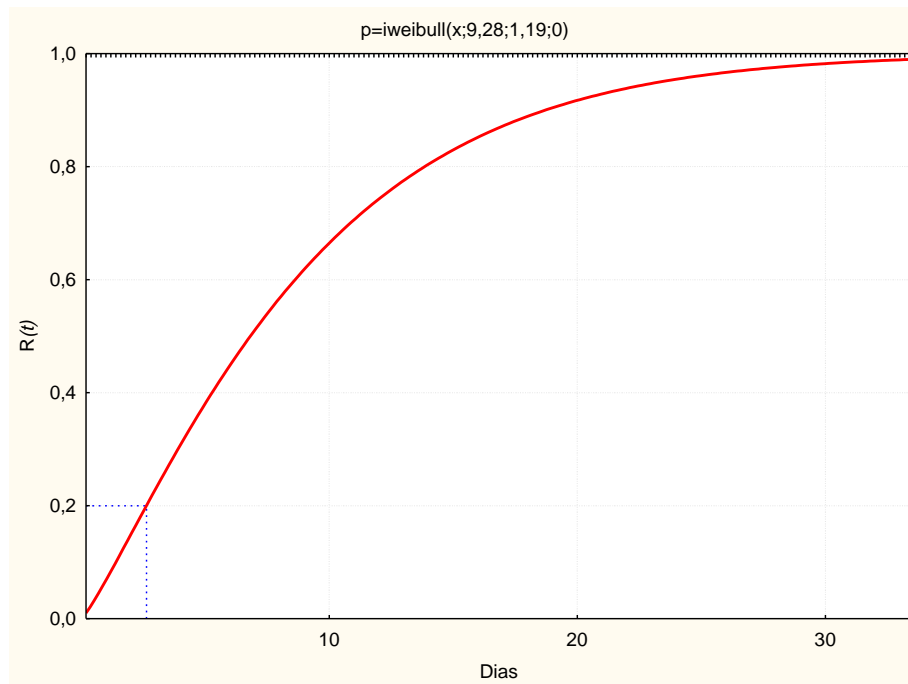


Figura 5.2: Função cumulativa de distribuição R (t) [Weib, $\beta=1,19$; $\eta=9,28$] (Fonte: Statistica 7).

Resolvendo a equação da função de fiabilidade em ordem ao tempo, é possível obter o intervalo entre tarefas de manutenção preventiva da Agrupadora, para a fiabilidade desejada. Tem-se assim:

$$t = 9,28 \times [-\ln(R_i)]^{\frac{1}{1,19}}$$

Neste caso, considerando uma fiabilidade desejada de 80%, em 95% dos casos, obter-se-ia um intervalo entre tarefas de manutenção preventiva de 2,63 dias, ou seja, de 2 em 2 dias devem ser realizadas tarefas de manutenção preventiva.

Graficamente, a função densidade de probabilidade de falha pode ser representada de acordo com a figura 5.3.

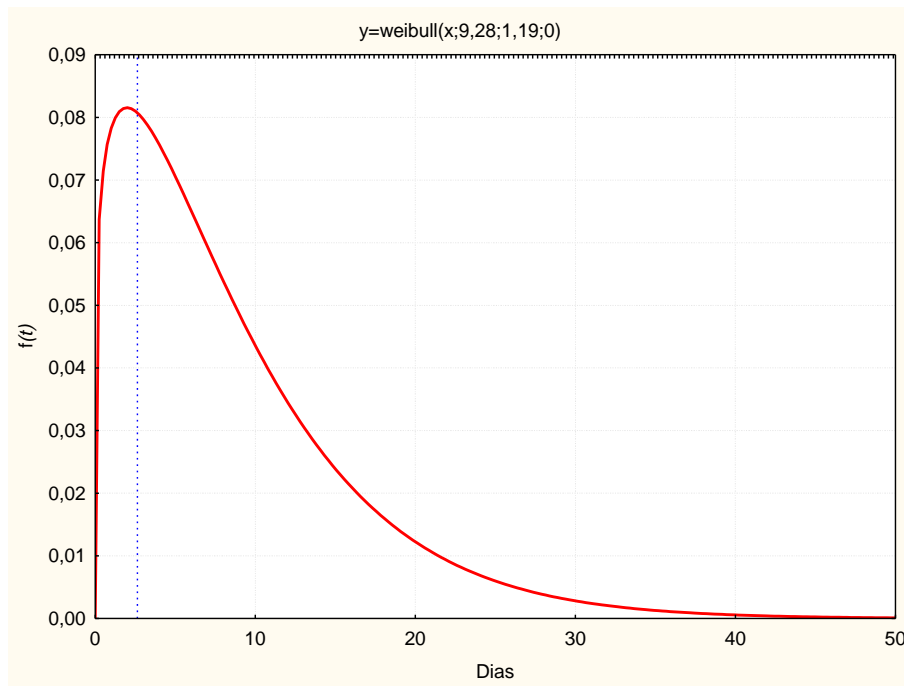


Figura 5.3: Função densidade de probabilidade $f(t)$ [Weib, $\beta=1,192$; $\eta=9,28$] (Fonte: Statistica 7).

5.1.1.2. Limite superior de confiança

Utilizando os valores do limite superior de confiança, a função de fiabilidade da Agrupadora, é dada por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{15,69}\right)^{2,04}}$$

A função pode também ser representada graficamente, de acordo com a figura 5.4.

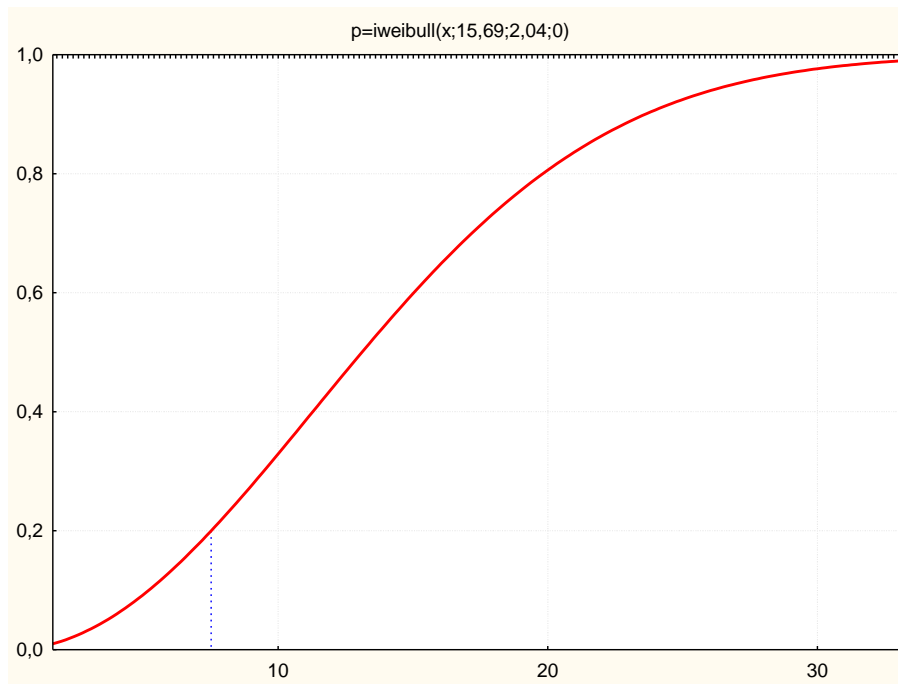


Figura 5.4: Função cumulativa de distribuição R (t) [Weib, $\beta=2,04$; $\eta=15,69$] (Fonte: Statistica 7).

Resolvendo a equação da função de fiabilidade em ordem ao tempo, é possível obter o intervalo entre tarefas de manutenção preventiva da Agrupadora, para a fiabilidade desejada. Tem-se assim:

$$t_i = 15.69 \times [-\ln(R_i)]^{\frac{1}{2.04}}$$

Neste caso, considerando uma fiabilidade desejada de 80%, em 95% dos casos, obter-se-ia um intervalo entre tarefas de manutenção preventiva de 7,52 dias, ou seja, de 7 em 7 dias devem ser realizadas tarefas de manutenção preventiva.

Graficamente, a função densidade de probabilidade de falha pode ser representada de acordo com a figura 5.5.

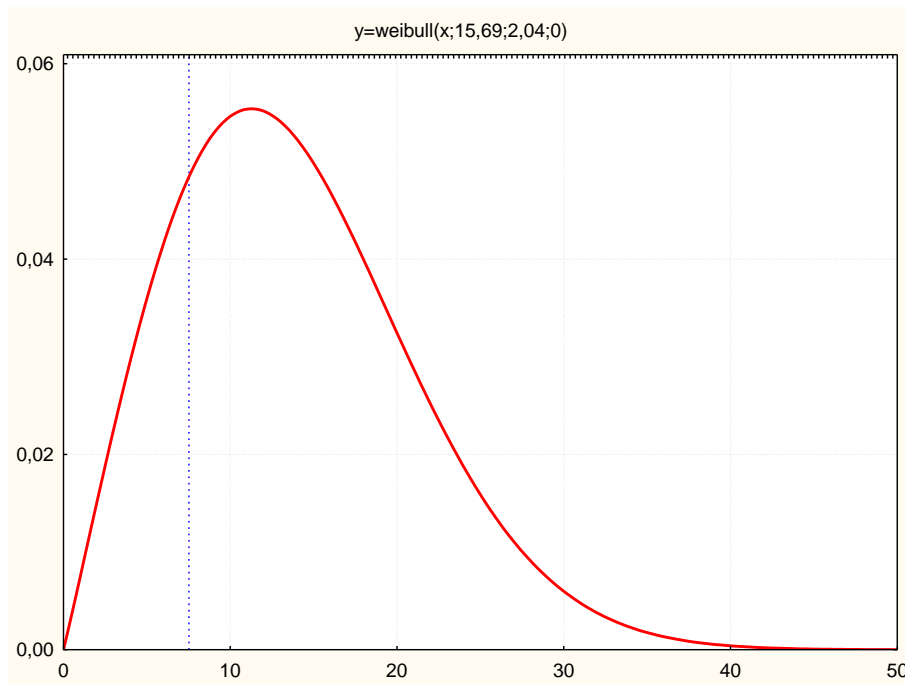


Figura 5.5: Função densidade de probabilidade $f(t)$ [Weib, $\beta=2,04$; $\eta=15,69$] (Fonte: Statistica 7).

Pode assim concluir-se, para uma fiabilidade desejada de 80%, em 95% dos casos, que as tarefas de manutenção preventiva devem ser realizadas, no mínimo, de 2 em 2 dias e no máximo, de 7 em 7 dias, ou seja, $2 < T_p < 7$ dias. Assim para garantir a fiabilidade esperada recomenda-se uma intervenção na Agrupadora a cada 5 dias, de forma a permitir a realização de tarefas de manutenção preventiva ao fim de semana.

Com a aplicação desta metodologia espera-se que a taxa de falhas se torne constante para um valor de \widehat{MTBF} próximo de 24 dias.

5.1.2. Com base na manutibilidade do equipamento crítico

À semelhança da distribuição estatística dos tempos de duração do equipamento crítico do sistema em estudo, é possível fazer o ajustamento a uma distribuição estatística de *Weibull* pelo método da máxima verosimilhança, com um parâmetro de forma (β) e um parâmetro de escala (η).

No período em estudo registou-se 77 reparações na Agrupadora, cujos tempos de reparação podem ser observados no Anexo III.2.

Os parâmetros de forma e de escala da distribuição de *Weibull*, compreendidos entre o limite inferior e superior do intervalo de confiança, para 95% dos casos, apresentam-se na tabela 5.2.

De forma a garantir uma manutibilidade estimada em 95% dos casos, do equipamento crítico, deve utilizar-se o limite superior, uma vez que se garante que em 95% dos casos os parâmetros de forma e de escala são inferiores aos valores encontrados, significando que o tempo efectivo da reparação é inferior ao tempo estimado.

Tabela 5.2: Parâmetros de *Weibull* para um intervalo de confiança de 95%.

	Valor do parâmetro	Erro padrão	Limite Inferior de Confiança (LIC) -95%	Limite Inferior de Confiança (LSC) 95%	Covariância
Parâmetro de forma (β)	1,00	0,09	0,85	1,18	
Parâmetro de escala (η)	47,77	5,74	37,75	60,44	0,16

5.1.2.1. Limite inferior de confiança

Utilizando os valores do limite inferior de confiança, é possível determinar a manutibilidade da Agrupadora. Esta pode ser representada graficamente, de acordo com a figura 5.6.

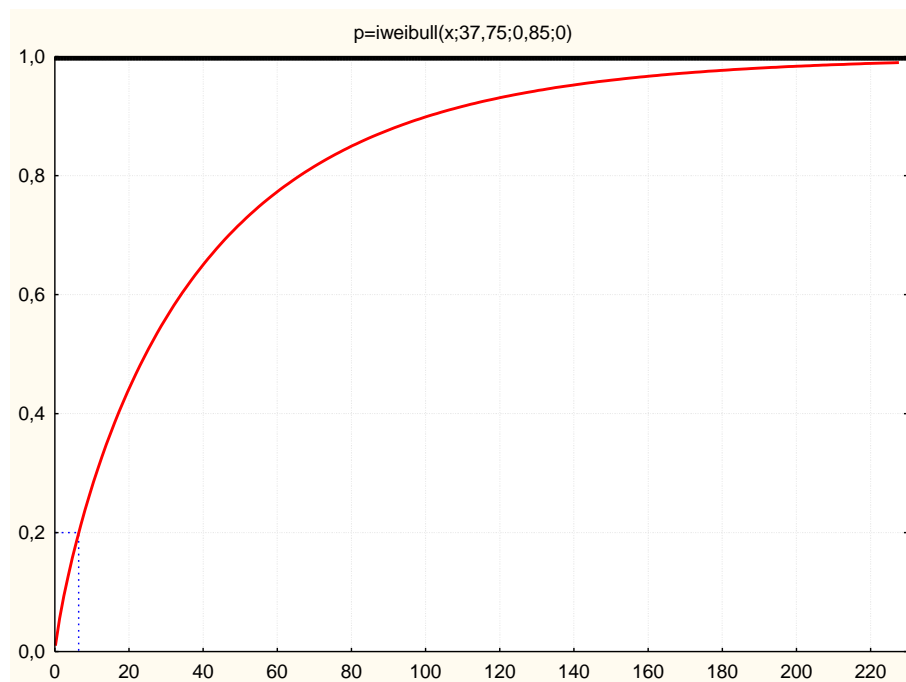


Figura 5.6: Função cumulativa de distribuição M(t) [Weib, $\beta=0,85$; $\eta=37,75$] (Fonte: Statistica 7).

Pode-se ainda obter o tempo estimado de reparação da Agrupadora. Neste caso, o tempo técnico de reparação é de 6,46 minutos.

Considera-se desta forma que para o equipamento Agrupadora, em 95% dos casos e considerando uma manutibilidade estimada de 80%, o tempo técnico mínimo de reparação é de 6 minutos.

Finalmente, a função densidade de probabilidade de reparação pode ser representada graficamente, de acordo com a figura 5.7.

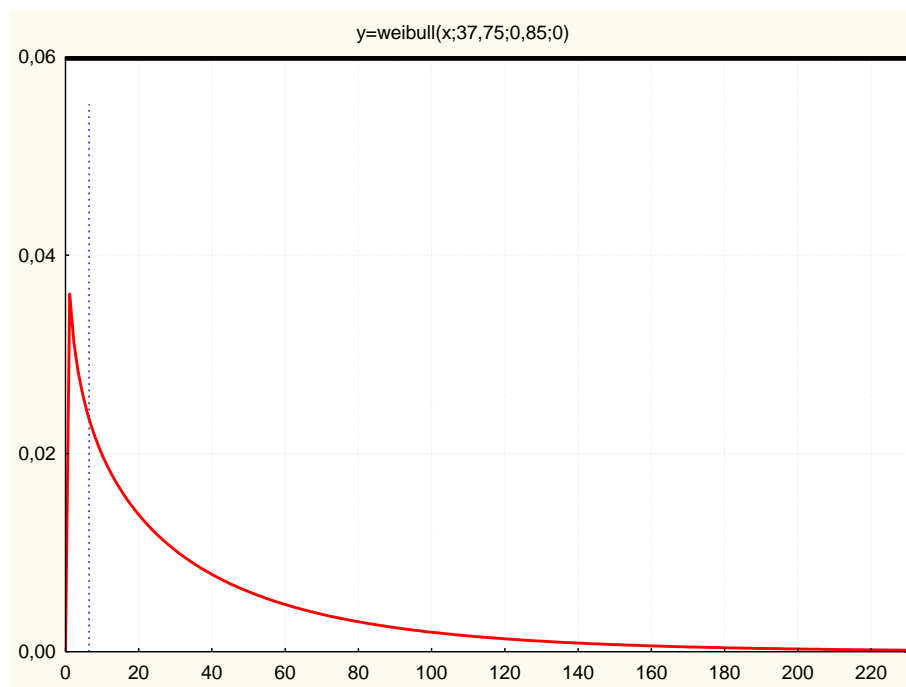


Figura 5.7: Função densidade de probabilidade $f(t)$ [Weib, $\beta=0,85$; $\eta=37,75$] (Fonte: Statistica 7).

5.1.2.2. Limite superior de confiança

Utilizando os valores do limite superior de confiança, é possível determinar a manutibilidade da Agrupadora. Esta pode ser representada graficamente, de acordo com a figura 5.8.

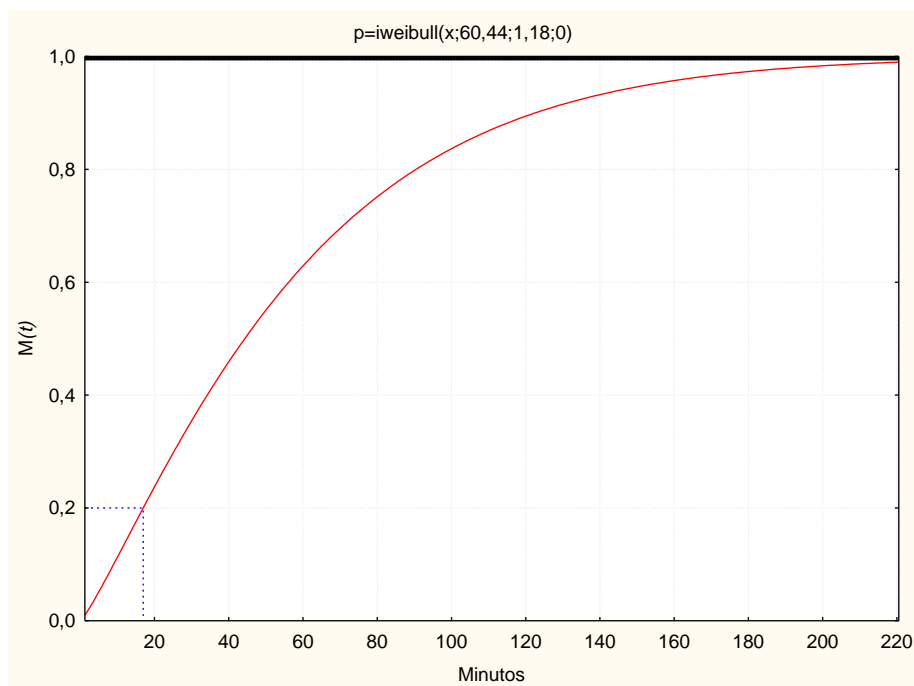


Figura 5.8: Função cumulativa de distribuição $M(t)$ [Weib, $\beta=1,18$; $\eta=60,44$] (Fonte: Statistica 7).

Pode-se ainda obter o tempo estimado de reparação da Agrupadora. Neste caso, o tempo técnico de reparação é de 18,95 minutos para o equipamento.

Assim, em 95% dos casos e considerando uma manutibilidade estimada de 80%, o tempo técnico máximo de reparação é de 18 minutos.

Finalmente, a função densidade de probabilidade de reparação pode ser representada graficamente, de acordo com a figura 5.9.

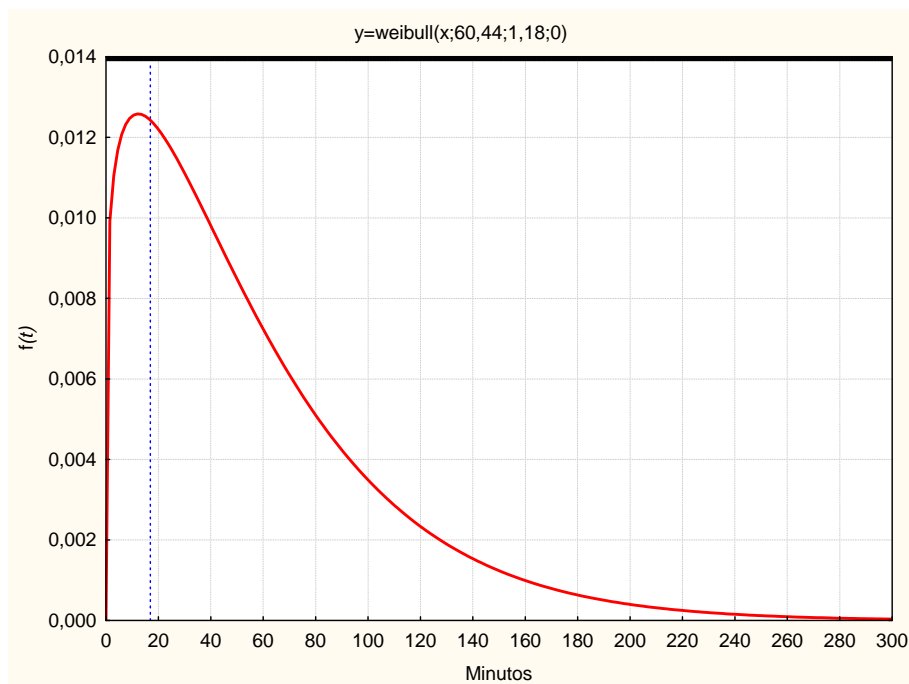


Figura 5.9: Função densidade de probabilidade $f(t)$ [Weib, $\beta=1,18$; $\eta=60,44$] (Fonte: Statistica 7).

Pode-se desta forma concluir, para uma manutibilidade desejada de 80%, em 95% dos casos, que a reparação do equipamento Agrupadora deve ser executada, num intervalo entre 6 e 18 minutos. Assim de forma garantir a fiabilidade esperada recomenda-se que o tempo de intervenção na Agrupadora demore 12 minutos.

Não existindo o registo dos tempos parciais, apenas é possível concluir que o tempo técnico de reparação de 12 minutos é o somatório das várias tarefas subjacentes à reparação, apresentadas na figura 5.10 (Ferreira, 1998).

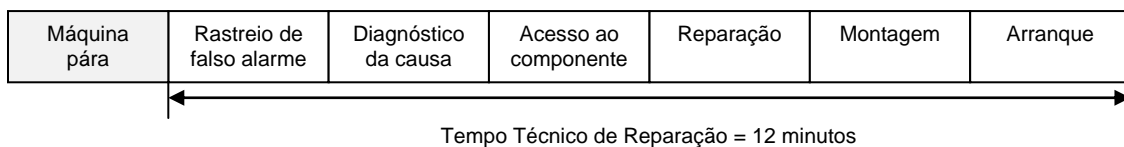


Figura 5.10: Decomposição do tempo técnico de reparação.

5.2. Plano de manutenção preventiva

A manutenção preventiva deve actuar num determinado componente de forma a reduzir o risco de degradação do mesmo. Assim, um plano de manutenção preventivo deve incluir acções como verificar, reparar e calibrar antes de uma determinada falha ocorrer, de forma a serem mantidas as condições normais de funcionamento do componente (Benmansour *et al.*, 2011).

O plano de manutenção preventivo deve assim detalhar o que deve ser feito e quando se deve proceder à respectiva manutenção preventiva.

5.2.1. Padrões de manutenção

O padrão de manutenção detalha como a tarefa deve ser realizada, ou seja, deve conter as várias etapas de execução dessa tarefa, as ferramentas a utilizar, os parâmetros a serem ajustados e os cuidados a serem tomados, para que a tarefa seja executada da melhor forma possível.

Todos os componentes devem possuir padrões de manutenção ou fichas de instruções. No Anexo IV é apresentado uma ficha de instrução de manutenção preventiva, neste caso da limpeza da barra de soldadura.

5.2.2. Equipa de manutenção preventiva

Para executar as tarefas de manutenção preventiva, pode-se contar com três equipas distintas, a equipa de operação (1º nível), a equipa de manutenção (2º nível) e ainda uma equipa externa à empresa (3º nível). Esta equipa de 3º nível é contratada quando a empresa não possui pessoal qualificado ou equipamento específico, para a execução de uma determinada tarefa de manutenção preventiva.

5.2.3. Plano de manutenção preventiva ao equipamento crítico

De forma a poder garantir uma fiabilidade desejada em 95% dos casos, devem ser utilizados os valores do limite inferior do intervalo de confiança para os parâmetros de forma e de escala.

Como se verificou anteriormente, se a fiabilidade desejada for de 80% devem ser realizadas acções de manutenção preventiva de 5 em 5 dias. No entanto de forma a facilitar a execução destas acções estabeleceu-se que devem ser realizadas uma vez por semana. As acções de manutenção preventiva encontram-se apresentadas no plano de trabalho apresentado na figura 5.11.

Departamento de Engenharia e Manutenção													
Manutenção Preventiva - AGRUPADORA													
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> Dados </div>													
<div style="display: flex; justify-content: flex-end; align-items: center;"> Frequência da Manutenção <div style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px; margin-left: 5px;"> Semanal </div> </div>													
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;"></td> <td style="width: 20%; text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Data</td> <td style="width: 20%; text-align: center; border-bottom: 1px solid black;">Hora</td> </tr> <tr> <td>Início da Revisão</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">/ /</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">:</td> </tr> <tr> <td>Fim da Revisão</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">/ /</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">:</td> </tr> </table>						Data	Hora	Início da Revisão	/ /	:	Fim da Revisão	/ /	:
	Data	Hora											
Início da Revisão	/ /	:											
Fim da Revisão	/ /	:											
Cod.	Componente	Descrição	Estado										
			OK	Not OK									
1.	Transportador												
1.1.		Limpar											
2.	Sem-fins												
2.1.		Limpar											
2.2.		Verificar posição (utilizar o padrão)											
2.3.		Verificar velocidade (de acordo com os parâmetros definidos)											
3.	Transportadores de entrada												
3.1.		Limpar											
4.	Desenrolador superior do filme												
4.1.		Verificar ajuste do travão											
5.	Lâmina de corte												
5.1.		Limpar											
5.2.		Verificar estado do <i>teflon</i>											
5.3.		Verificar a qualidade da soldadura											
6.	Empurrador												
6.1.		Verificar folgas e estado geral											

Figura 5.11: Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva Semanal para o equipamento Agrupadora (PT 1).

De forma a complementar o Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva semanal, foram ainda elaborados planos de trabalho de manutenção preventiva quinzenal, trimestral, semestral e anual, os quais poderão revelar extrema importância no aumento da fiabilidade do equipamento e consequentemente da linha de produção.

Departamento de Engenharia e Manutenção																			
Manutenção Preventiva - AGRUPADORA																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #d3d3d3;"> <th colspan="3">Dados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 70%;">Horas de funcionamento</td> <td colspan="2" style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">Quinzenal</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center; font-size: small;">Data</td> <td style="text-align: center; font-size: small;">Hora</td> </tr> <tr> <td>Início da Revisão</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">/ /</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">:</td> </tr> <tr> <td>Fim da Revisão</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">/ /</td> <td style="text-align: center; border: 1px solid black;">:</td> </tr> </tbody> </table>					Dados			Horas de funcionamento	Quinzenal			Data	Hora	Início da Revisão	/ /	:	Fim da Revisão	/ /	:
Dados																			
Horas de funcionamento	Quinzenal																		
	Data	Hora																	
Início da Revisão	/ /	:																	
Fim da Revisão	/ /	:																	
Cod.	Componente	Descrição	Estado																
			OK	Not OK	Observações														
1.	Lâmina de corte																		
1.1.		Verificar estado das borrachas de acantamento																	
2.	Geral																		
2.1.		Remover excessos e limpeza geral																	
2.2.		Inspeccionar os componentes																	
2.3.		Lubrificar:																	
		Cames																	
		Roletes																	
		Veios																	
		Rolamentos																	

Figura 5.12: Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva Quinzenal para o equipamento Agrupadora (PT 2).

Departamento de Engenharia e Manutenção

Manutenção Preventiva - AGRUPADORA

Dados		
Horas de funcionamento		Trimestral
Início da Revisão	Data / /	Hora :
Fim da Revisão	/ /	:

Cod.	Componente	Descrição	Estado		
			OK	Not OK	Observações
1.	Lâmina de corte				
1.1.		Substituir borrachas de acatamento			
2.	Motor principal				
2.1.		Medir temperatura, (registar e avaliar a curva de tendência - $T_{\text{alarme}}=60^{\circ}$)			
3.	Motor de transportadores				
3.1.		Medir temperatura, (registar e avaliar a curva de tendência - $T_{\text{alarme}}=60^{\circ}$)			
4.	Redutores				
4.1.		Recolher amostras do óleo para análise			
5.	Geral				
5.1.		Limpar e lubrificar			
5.2.		Verificar tensão e alinhamento da tela do transportador de saída			
5.3.		Verificar a tensão da cadeia dos transportadores de entrada			

Figura 5.13: Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva Trimestral para o equipamento Agrupadora (PT 3).

Departamento de Engenharia e Manutenção

Manutenção Preventiva - AGRUPADORA

Dados		
Horas de funcionamento	Semestral	
	Data	Hora
Início da Revisão	/ /	:
Fim da Revisão	/ /	:

Cod.	Componente	Descrição	Estado		
			OK	Not OK	Observações
1.	Motor principal				
1.1.		Afinar travão do motor principal			
2.	Geral				
2.1.		Verificar folgas de:			
		Rolamentos			
		Roletes			
		Cames			
		Cardans			
		Correntes			
		Veios			

Figura 5.14: Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva Semestral para o equipamento Agrupadora (PT 4).

Departamento de Engenharia e Manutenção

Manutenção Preventiva - AGRUPADORA

Dados		
Horas de funcionamento		Anual
Início da Revisão	Data	Hora
	/ /	:
Fim da Revisão	/ /	:

Cod.	Componente	Descrição	Estado		
			OK	Not OK	Observações
1.	Lâmina de corte				
1.1.		Substituir lâmina de corte para reposição da protecção em teflon (utilizar a de reserva)			
2.	Empurrador				
2.1.		Substituir cilindros pneumáticos			

Figura 5.15: Plano de Trabalho de Manutenção Preventiva Anual para o equipamento Agrupadora (PT 5).

Assim, a proposta de manutenção desenvolvida é de grande importância para que a Agrupadora possa ter resultados satisfatórios, garantindo desta forma a fiabilidade desejada.

Para a realização dos Planos de Trabalho de Manutenção Preventiva é essencial definir o tempo de execução dos mesmos e o número de trabalhadores necessários, como se define na tabela seguinte.

Tabela 5.3: Tempo de intervenção e nº de trabalhadores definidos para a realização de planos de trabalho de manutenção preventiva.

	Tempo de intervenção (minutos)	Nº de trabalhadores
PT 1	12	1
PT 2	10	1
PT 3	60	1
PT 4	20	1
PT 5	60	1

Revela-se ainda essencial definir o planeamento temporal de realização dos Planos de Trabalho de Manutenção Preventiva, o qual se apresenta na tabela seguinte.

Tabela 5.4: Planeamento temporal de realização dos Planos de Trabalho de Manutenção Preventiva.

	Janeiro				Fevereiro				Março				Abril				Maio				Junho			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PT 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PT 2	x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x	
PT 3	x												x											
PT 4	x																							
PT 5	x																							

	Julho				Agosto				Setembro				Outubro				Novembro				Dezembro			
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
PT 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PT 2	x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x	
PT 3	x												x											
PT 4	x																							
PT 5																								

Com a definição do planeamento temporal de realização dos Planos de Trabalho de Manutenção Preventiva é possível verificar que em determinadas semanas os vários planos podem ser executados em conjunto.

O planeamento proposto pode ser ajustado ao longo das várias intervenções, tornando-o mais vantajoso.

Uma política de manutenção preventiva associada a uma boa estratégia de liderança actua no sentido de melhorar a fiabilidade e manutibilidade, maximizando o *OEE*. Consequentemente contribuem para a qualidade e aumento da produtividade (Khan e Darrab, 2010).

Assim ao desenvolver esta proposta de implantação de manutenção preventiva pode concluir-se que a mesma é indispensável para se chegar a uma melhoria no auxílio à tomada de decisão das actividades ligadas a área de manutenção.

Capítulo 6 – Análise do OEE da linha de produção

6.1 Definição do OEE da linha de produção

6.2 OEE previsto

6.1 Definição do OEE da linha de produção

O OEE é facilmente calculado e pode ser aplicado a qualquer processo, departamento ou a toda a organização. Desta forma, evita-se que a recolha de dados e a análise dos resultados possam levar a desperdício de tempo e de esforço.

A análise OEE pretende alcançar a máxima eficiência dos equipamentos. Desta forma existem perdas que devem ser eliminadas, uma vez que estas influenciam directamente a disponibilidade, o desempenho, a qualidade e consequentemente o indicador do OEE.

A cada perda ocorrida na linha de produção, é possível associar uma ocorrência e a respectiva consequência, como demonstrado na tabela seguinte.

Tabela 6.1: Caracterização dos diferentes tipos de perdas da linha de produção.

Perdas	Ocorrências	Consequências
1 - Falhas/avarias	<ul style="list-style-type: none">▪ Avaria mecânica, eléctrica, pneumática e da bomba de alimentação.▪ Paragens não planeadas para intervenções de manutenção.▪ Falhas de energia eléctrica.	Reduzem o tempo Disponível para produção.
2 – Setups e afinações	<ul style="list-style-type: none">▪ Mudança de produto.▪ Paragens para limpeza.▪ Falta de materiais (base, frascos, tampas e rótulos).▪ Falta de operador.	

Tabela 6.2: Caracterização dos diferentes tipos de perdas da linha de produção (continuação).

Perdas	Ocorrências	Consequências
3 - Pequenas paragens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limpeza e pequenos ajustes. ▪ Falha no abastecimento de materiais. ▪ Verificação/regulação de parâmetros. 	Afectam a eficiência da linha, não permitindo que funcione no tempo de ciclo nominal
4 - Redução de velocidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Funcionamento abaixo da velocidade especificada. ▪ Incapacidade do operador em garantir o funcionamento regular. 	
5 – Defeitos de qualidade e retrabalho	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produto fora da especificação. ▪ Caixas, frascos, tampas e rótulos defeituosos. ▪ Retrabalho do produto. 	Reduzem a qualidade do produto que cumpre as especificações à primeira
6 - Perdas de arranque	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produto fora de especificação. ▪ Retrabalho do produto. 	

A Disponibilidade é afectada pelas falhas/avarias e pelos *setups* e afinações, os quais reduzem o tempo disponível para produzir. O cálculo da disponibilidade é apresentado na tabela seguinte e pode ser obtido pela expressão (2.29).

Tabela 6.3: Cálculo do Índice de Disponibilidade.

Índice de Disponibilidade		
Descrição	Expressão de cálculo	Resultado
Tempo de Produção Planeado		180480 min
Perda de Paragens		69662,86 min
Tempo de Operação	180480 – 69662,86	110817,14 min
Disponibilidade $\frac{\text{Tempo de Operação}}{\text{Tempo de Produção Planeado}} \times 100$	$\frac{110817,14}{180480} \times 100$	61,40%

Verifica-se que a disponibilidade da linha é de 61,4%.

Uma vez que o estudo incide nos trabalhos de manutenção realizados à linha de produção, torna-se relevante analisar a disponibilidade da linha em termos de manutenção. A partir dos dados da manutenção foi possível obter o índice de disponibilidade.

Tabela 6.4: Cálculo do Índice de Disponibilidade em termos de manutenção.

Índice de Disponibilidade (em termos de Manutenção)		
Descrição	Expressão de cálculo	Resultado
<i>MTBF</i>		0,98 dias
<i>MTTR</i>		0,03 dias
Disponibilidade $\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$	$\frac{0,98}{0,98 + 0,03} \times 100$	96,74%

Assim, a disponibilidade em termos de manutenção é de 96,74%.

A baixa disponibilidade verificada na linha deve-se essencialmente às paragens devido a Encravamentos, como estudado no Capítulo 4. Estas paragens representam 85,8%, sendo que apenas 3,9% das paragens da linha são devido a falhas, ou seja, apenas estas requerem intervenção da manutenção.

Desta forma, através dos cálculos anteriores é possível constatar que as paragens devido a Encravamentos merecem especial atenção, uma vez que são estas que mais contribuem para as paragens de produção da linha e consequentemente para a baixa disponibilidade da mesma.

O desempenho é afectado pelas pequenas paragens e pela redução de velocidade. Este diminui após qualquer paragem não planeada. É necessário actuar para que a taxa de produção volte à velocidade normal, reduzindo desta forma o desperdício de tempo. O desempenho pode ser calculado através da expressão (2.30), como se apresenta na tabela seguinte.

Tabela 6.5: Cálculo do Índice de Desempenho.

Índice de Desempenho		
Descrição	Expressão de cálculo	Resultado
Total de Peças Produzidas		890580 cxs
Peças por ciclo		10 cxs/min
Desempenho $\frac{\text{Total peças} / \text{Tempo Produção}}{\text{Peças por ciclo}} \times 100$	$\frac{890580 / 110817,14}{10} \times 100$	80,36%

O Desempenho da linha de produção é assim de 80,36%.

A qualidade é afectada pelos defeitos de qualidade, pelo retrabalho e pelas perdas de arranque. Na linha de produção em estudo, não são contabilizadas as peças defeituosas, considerando-se sempre, para o índice de qualidade, um valor de 99%.

Seria interessante prever um valor real para o índice de qualidade, uma vez que os frascos defeituosos são retirados da linha, voltando a entrar, isso deveria ser considerado retrabalho pois correspondem a um tempo perdido por produção defeituosa.

Tabela 6.6: Cálculo do Índice de Qualidade.

Índice de Qualidade		
Descrição	Expressão de cálculo	Resultado
Qualidade $\frac{\text{Peças boas}}{\text{Total peças}} \times 100$		99%

O cálculo do *OEE* é dado a partir da expressão (2.28). Assim, o cálculo do *OEE* é apresentado na tabela seguinte.

Tabela 6.7: Cálculo do Indicador *OEE*.

Indicador de <i>OEE</i>		
Descrição	Expressão de cálculo	Resultado
<i>OEE</i> Disponibilidade × Desempenho × Qualidade	61,40 × 80,36 × 99	48,85%
<i>OEE</i> (em termos de manutenção) Disponibilidade × Desempenho × Qualidade	96,74 × 80,36 × 99	76,96%

Verifica-se que o indicador de *OEE* (em termos de manutenção) é superior ao indicador global do *OEE*, isto deve-se ao facto de todas as paragens da linha afectarem a disponibilidade e consequentemente o seu *OEE*, como referido anteriormente.

Segundo Nakajima (1989), o valor ideal de *OEE* deve ser igual ou superior a 85%, o que não se verifica no caso em estudo. Desta forma é necessário verificar quais as principais perdas e sua influência na taxa de disponibilidade.

6.2. *OEE* previsto

Com base na identificação e eliminação das perdas, apresentadas na tabela 6.1 e 6.2, é possível melhorar o indicador global do *OEE* e consequentemente os ganhos de qualidade, de produtividade, de custos, segurança do trabalho e satisfação dos consumidores.

Sendo a melhoria do *OEE* um processo contínuo significa que está frequentemente enquadrado nos programas de manutenção preventiva. Assim, é necessário definir estratégias com o intuito de eliminar as perdas associadas a cada uma das componentes, adoptando estratégias de prevenção.

No âmbito do estudo de manutenção tem-se como principal objectivo, aumentar a disponibilidade e consequentemente o *OEE* da linha, através da implementação de um plano de manutenção preventivo ao sistema crítico, o qual se revela fundamental.

Com a aplicação desta metodologia espera-se que a taxa de falhas da linha deixe de ser crescente tornando-se constante para um determinado valor de \widehat{MTBF} . Assim, considerando uma fiabilidade desejada de 80% prevê-se que o número de falhas diminua de 264 para 53 falhas por ano. Desta forma, ter-se-á um \widehat{MTBF} de 6,91 dias e consequentemente uma disponibilidade da linha de 99,94%.

Tabela 6.8: Cálculo do Índice de Disponibilidade previsto, em termos de manutenção.

Índice de Disponibilidade (em termos de Manutenção)		
Descrição	Expressão de cálculo	Resultado
$MTBF$		6,91 dias
$MTTR$		0,03 dias
Disponibilidade $\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$	$\frac{6,91}{6,91 + 0,03} \times 100$	99,94%

Consequentemente prevê-se que o desempenho da linha aumentará, assim como o *OEE*, para que seja atingido o *OEE* de 85%.

É possível concluir que o novo plano de manutenção preventivo conduz a uma diminuição da indisponibilidade do sistema, por manutenção preventiva.

PARTE III – CONCLUSÕES FINAIS

Capítulo 7 - Conclusões

7.1 Conclusões gerais

7.2 Sugestões para Trabalhos

Futuros

7.1. Conclusões gerais

A realização deste trabalho possibilitou a elaboração de um estudo de fiabilidade aos equipamentos de uma linha de produção.

Este estudo permitiu avaliar o estado actual de cada equipamento e ainda prever o comportamento de cada um ao longo do tempo. Através da compreensão do comportamento de cada sistema é possível implementar medidas preventivas aos sistemas críticos como o desenvolvimento de um plano de manutenção preventivo.

O grau de criticidade de cada sistema não depende apenas do aspecto quantitativo, como o número total de falhas, mas também do tempo total de paragens.

Com o intuito de analisar os sistemas mais críticos da linha de produção utilizou-se diagramas de Pareto, os quais permitiram concluir que os equipamentos Agrupadora, Encartonadora, Posicionador de Frascos, Enchedora e Rotuladora contribuem para cerca de 80% das falhas da linha de produção.

Tendo em consideração a análise de fiabilidade dos equipamentos obteve-se que o único equipamento que apresenta uma taxa de falhas decrescente é a Encartonadora. Os equipamentos Posicionador de Frascos, Enchedora e Rotuladora apresentam uma taxa de falhas constante. Quanto ao equipamento Agrupadora este apresenta uma taxa de falhas crescente, o que significa que se está a degradar ao longo do tempo. Desta forma, sob o ponto de vista da fiabilidade, conclui-se que a Agrupadora é o equipamento mais crítico, pois apresenta uma taxa de falhas crescente em que o valor da estatística de teste z_0 é o mais elevado.

Analizou-se o equipamento Agrupadora e verificou-se que seria necessário aplicar um plano de manutenção preventivo ao mesmo.

Com o desenvolvimento de um plano de manutenção seria expectável que houvesse uma transição de uma taxa de falhas crescente para uma taxa de falhas constante. Assim, de forma a conseguir realizar este processo de transição, recorreu-se à distribuição de *Weibull* e verificou-se que para uma fiabilidade de 80% seria necessário realizar intervenções uma vez por semana, com um MTBF estimado de 24 dias.

Foi ainda possível determinar, através da duração dos tempos de reparação de falhas, o tempo técnico de reparação ideal, sendo de 12 minutos. Este tempo é referente ao somatório das várias tarefas subjacentes à reparação.

Com a análise do *OEE* pretende-se alcançar a máxima eficiência dos equipamentos da linha de produção, sendo essencial a eliminação de perdas, uma vez que estas influenciam directamente a disponibilidade, o desempenho, a qualidade e consequentemente o indicador do *OEE*. Verificou-se que o indicador de *OEE* (em termos de manutenção) é superior ao indicador global do *OEE*, no entanto nenhum atinge o valor ideal de 85% para o *OEE*.

Prevê-se, que após a aplicação do plano de manutenção preventivo, para uma fiabilidade desejada de 80%, a disponibilidade da linha, em termos de manutenção, aumente assim como o *OEE*.

Com o estudo realizado foi possível concluir que é essencial a realização de manutenção preventiva. Considera-se, desta forma, que a análise de sistemas reparáveis representa uma mais-valia para a organização permitindo a redução de custos e o consequente aumento de lucros da mesma.

A utilização do indicador *OEE* permite não só determinar a eficiência da linha, mas também identificar onde se encontram as possíveis perdas a eliminar. Possibilita assim envolver todas as áreas da empresa por meio de um indicador, direccionando todos os esforços para o aumento da eficiência global da organização.

7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

Sendo os processos de melhoria de uma linha de produção contínuos, existem variadíssimas análises técnicas possíveis de realizar, de modo a atingir um nível de eficiência superior ao apresentado na presente dissertação.

Sugere-se, para trabalhos futuros, que seja dada continuidade à metodologia utilizada, aplicando-a aos restantes equipamentos da linha de produção e ainda às restantes linhas da unidade industrial.

Uma vez que se observou que as paragens por Encravamentos representavam uma elevada percentagem das paragens de produção sugere-se que sejam realizados estudos de modo a conseguir uma redução significativa destes tempos de paragem.

Bibliografia

Allison, P. D. (2010). *Survival analysis using SAS: a practical guide*. North Carolina: SAS Institute Inc.

Ascher, H., & Feingold, H. (1984). *Repairable systems reliability: modeling, inference, misconceptions and their causes*. New York: Marcel Dekker, Inc.

Assis, R. (2004). *Apoio à decisão em gestão da manutenção: fiabilidade e manutibilidade*. Lisboa: Lidel - Edições Técnicas, Lda.

Barros, J. F., & Lima, G. B. (2009). A influência da gestão da manutenção nos resultados da organização. *V Congresso nacional de excelência em gestão*, Rio de Janeiro.

Benmansour, R., Allaoui, H., & Abdelhakim, A. (2011). Simulation-based approach to joint production and preventive maintenance scheduling on a failure-prone machine. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. 254-267.

Birolini, A. (2010). *Reliability Engineering*. New York: Springer-Verlag.

Cabral, J. P. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção*. Lisboa: Lidel.

Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, maintenance and reliability for engineers*. Florida: CRC Press LLC.

Dias, J. M. (2002). *Fiabilidade em Redes de Distribuição de Energia Eléctrica*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa.

Dias, J. M., & Pereira, Z. L. (2005). Fiabilidade e gestão da manutenção de sistemas reparáveis. In C. G. Soares, A. P. Teixeira, & P. Antão, *Análise e gestão de riscos, segurança e fiabilidade* (pp. 591-602). Lisboa: Edições Salamandra.

Dias, J. M., Requeijo, J. G., Leal, R. P., & Pereira, Z. L. (2007). Optimização do período de substituição preventiva de componentes em função dos custos. *VIII Congresso Ibero-americano de engenharia mecânica*, Cusco.

Edwards, F. A., & Starr, A. (2010). Evaluation of overall equipment effectiveness based on market. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. 256-270.

EN 13306 (2010). *European Standard: Maintenance terminology*. European committee for standardization, Brussels.

Ferreira, L. A. (1998). *Uma Introdução à Manutenção*. Porto: Publindústria.

Hansen, R. C. (2002). *Overall equipment effectiveness: a powerful production / maintenance tool for increased profits*. New York: Industrial Press, Inc.

Kalbfleisch, J. D., & Prentice, R. L. (2002). *The statistical analysis of failure time data*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Khan, M., & Darrab, I. (2010). Development of analytical relation between maintenance, quality and productivity. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , pp. 341-353.

Khazraei, K., & Deuse, J. (2011). A strategic standpoint on maintenance taxonomy. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , pp. 96-113.

Kobbacy, K. A., & Murthy, D. P. (2008). *Complex system maintenance handbook*. London: Springer-Verlang.

Lindqvist, B. H. (2006). On the Statistical Modeling and Analysis of Repairable Systems. *Statistical Science* , pp. 532–551.

Marques, S. (2009). *Manutenção industrial e custo do ciclo de vida - Extracção*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa.

Márquez, A. C. (2007). *The maintenance management framework: models and methods*. London: Springer-Verlang.

Márquez, A. C., León, P. M., & Fernández, J. F. (2009). The maintenance management framework: A practical view to maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , pp. 167-178.

Murthy, D. N., Xie, M., & Jiang, R. (2004). *Weibull models*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Nakagawa, T. (2008). *Advanced reliability models and maintenance policies*. London: Springer-Verlag.

Nakagawa, T. (2005). *Maintenance Theory of Reliability*. London: Springer-Verlag.

Nakajima, S. (1989). *Introduction to TPM*. Cambridge: Productivity Press.

Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Portland: Productivity Press.

Nelson, W. (2004). *Applied life data analysis*. New York: John Wiley & Sons.

NP 4483 (2008). *Norma Portuguesa: Sistemas de gestão da manutenção*. Instituto Português da Qualidade, Caparica.

- Peña, E., & Hollander, M. (2004). Models for recurrent events in reliability and survival analysis. In T. Mazzuchi, N. Singpurwalla, & R. Soyer, *Mathematical reliability: an expository perspective* (pp. 105-123). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Rinne, H. (2009). *The Weibull distribution: a handbook*. Boca : Taylor & Francis Group.
- Ryan, T. P. (2007). *Modern engineering statistics*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
- Santos, A., & Santos, M. (2007). Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura - um estudo de caso. XXVII encontro Nacional de Engenharia de Produção. Paraná.
- Silva, J. P. (2009). OEE - A forma de medir a eficácia dos equipamentos. Retrieved Dezembro 2, 2011, from ScriBd - Lean em Portugal: <http://www.scribd.com/doc/15122575/>
- Simões, J. M., Gomes, C. F., & Yasin, M. M. (2011). A literature review of maintenance performance measurement: A conceptual framework and directions for future research. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , pp. 116-137.
- Smith, D. J. (2011). *Reliability maintainability and risk: practical methods for engineers*. Oxford: Elsevier Ltd.
- Stepelberg, R. F. (2009). *Handbook of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design*. London: Springer-Verlag.
- Stephens, M. P. (2010). *Productivity and reliability-based maintenance management*. Purdue University Press.
- Stevenson, M. (2009). *An Introduction to Survival Analysis*. Massey University.
- Telang, A. D., & Telang, A. (2010). *Comprehensive maintenance management*. New Delhi: PHI Learning.
- Todinov, M. T. (2005). *Reliability and risks models: setting reliability requirements*. West Sussex: John Wiley & Sons, Inc. .
- Tsarouhas, P. (2011). A comparative study of performance evaluation based on field failure data for food. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , pp. 26-39.
- Veldman, J., Wortmann, H., & Klingenberg, W. (2011). Typology of condition based maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* , pp. 183-202.
- Wang, P., & Coit, D. W. (2005). Repairable systems reliability trend tests and evaluation. *Reliability and maintainability symposium* , pp. 416-421.
- Willmott, P., & McCarthy, D. (2001). *TPM - A route to world class performance*. Woburn: Butterworth-Heinemann.

Wuttke, R. A., & Sellitto, M. A. (2008). Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. *Revista Produção*. Florianópolis.

Zuashkiani, A., Rahmandad, H., & Jardine, A. K. (2011). Mapping the dynamics of overall equipment effectiveness to enhance asset management practices. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, pp. 74-92.

Anexos

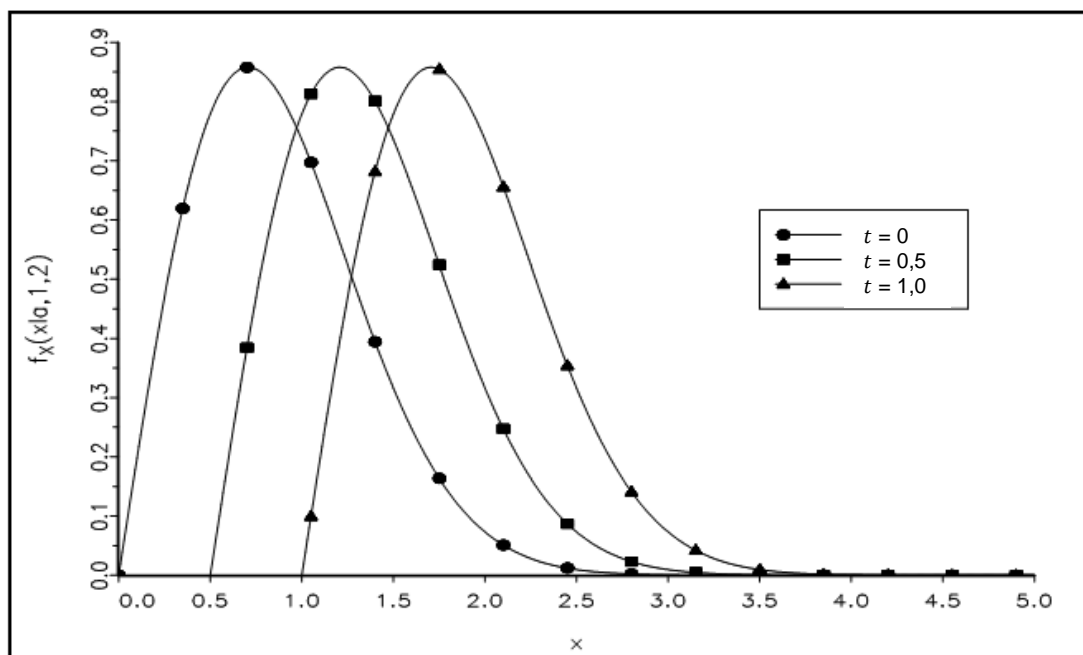
Anexo I – Distribuição de *weibull*

Anexo II – Análise estatística do
sistema global

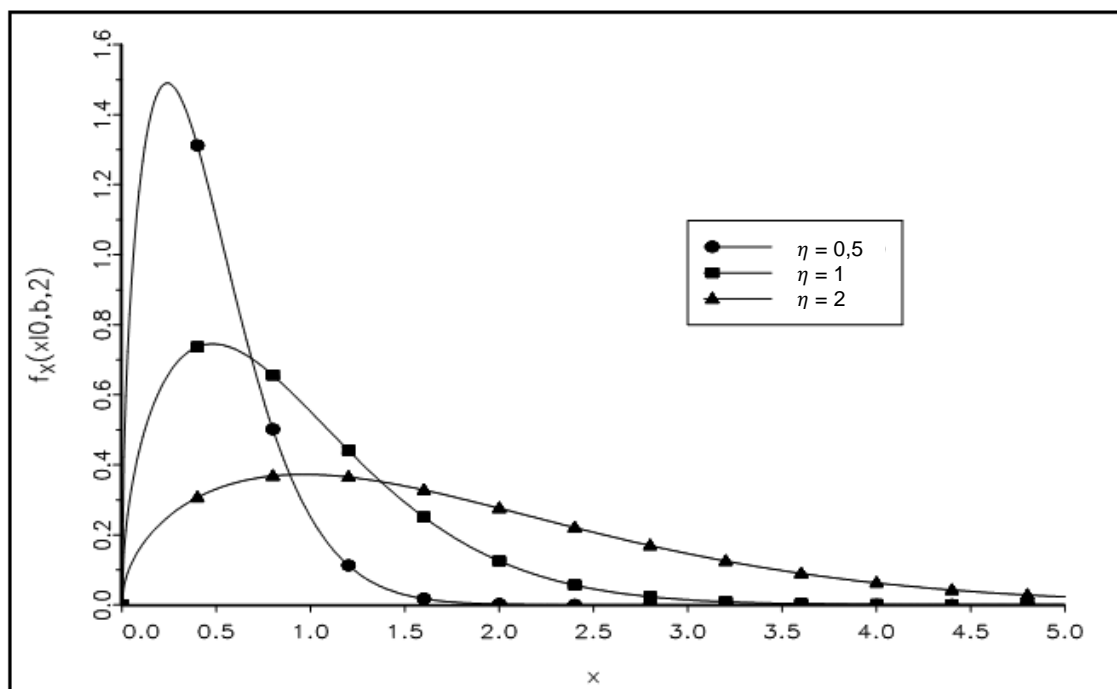
Anexo III – Análise e modelação
das falhas do equipamento crítico

Anexo IV – Ficha de instrução de
manutenção preventiva

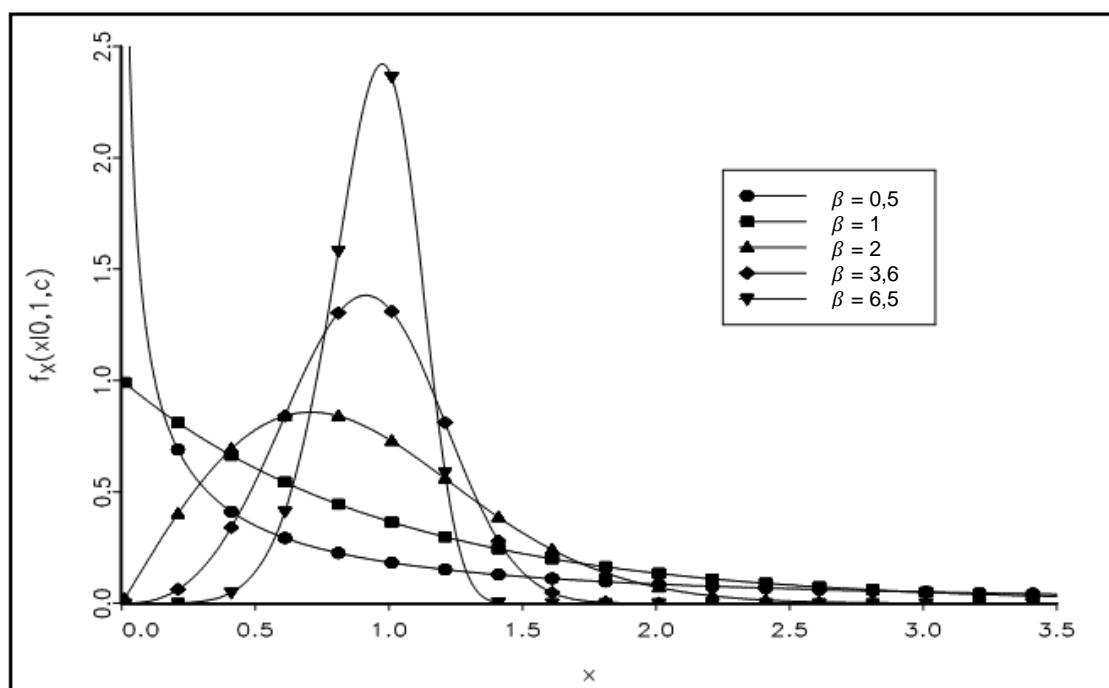
Anexo I – Distribuição de weibull



Anexo I.1: Função densidade de probabilidade de *Weibull* para vários parâmetros de localização (Fonte: Rinne (2009)).



Anexo I.2: Função densidade de probabilidade de *Weibull* para vários parâmetros de escala (Fonte: Rinne (2009)).



Anexo I.3: Função densidade de probabilidade de *Weibull* para vários parâmetros de forma (Fonte: Rinne (2009)).

Anexo II – Análise estatística do sistema global

Anexo II.1: Nº de paragens de cada equipamento por mês.

	Agrupadora	Posicionador de Frascos	Posicionador de Tampas	Rotuladora	Enchedora	Encartonadora	Capsuladora	Outros Equipamentos	Outras Causas	Total
Janeiro	99	56	52	54	56	30	23	14	4	388
Fevereiro	80	48	48	46	45	28	33	5	11	344
Março	188	131	111	127	97	71	74	9	49	857
Abril	87	51	54	59	54	29	30	4	25	393
Maio	194	113	109	96	94	77	111	43	8	845
Junho	159	131	90	101	83	63	91	29	21	768
Julho	208	142	119	118	118	113	97	22	19	956
Agosto	238	220	164	177	150	216	123	12	53	1353
Setembro	154	151	97	87	83	107	101	10	14	804
Outubro	225	119	117	102	112	89	115	5	10	894
Novembro	108	77	64	46	52	56	40	18	9	470
Dezembro	10	5	6	3	9	2	5	1	3	44
Total	1750	1244	1031	1016	953	881	843	172	226	8116

Anexo III – Análise e modelação das falhas do equipamento crítico

Anexo III.1: Intervalo entre falhas do equipamento Agrupadora

Ordem (nf)	Intervalo entre falhas (Dias)	Ordem (nf)	Intervalo entre falhas (Dias)	Ordem (nf)	Intervalo entre falhas (Dias)
1	0,98	27	1,09	53	0,56
2	7,97	28	22,68	54	1,99
3	5,07	29	0,88	55	0,51
4	1,00	30	4,03	56	5,80
5	32,99	31	9,21	57	0,14
6	0,25	32	3,81	58	7,00
7	8,92	33	1,08	59	7,70
8	5,83	34	0,07	60	3,83
9	3,35	35	1,80	61	0,06
10	3,67	36	1,00	62	2,25
11	3,29	37	0,03	63	0,11
12	16,78	38	11,04	64	10,97
13	0,89	39	0,97	65	0,82
14	5,95	40	0,01	66	1,02
15	4,07	41	0,98	67	0,78
16	34,16	42	1,53	68	0,13
17	6,99	43	3,76	69	0,35
18	5,92	44	0,72	70	0,48
19	7,01	45	2,31	71	3,24
20	7,34	46	2,93	72	1,31
21	6,59	47	1,86	73	0,84
22	6,02	48	6,91	74	11,69
23	1,21	49	0,19	75	17,92
24	1,85	50	0,09	76	0,04
25	0,09	51	5,75	77	0,08
26	3,10	52	0,40		

Anexo III.2: Reparações da Agrupadora.

Ordem (n _r)	Tempo de reparação (min)	Ordem (n _r)	Tempo de reparação (min)	Ordem (n _r)	Tempo de reparação (min)	Ordem (n _r)	Tempo de reparação (min)
1	180	21	20	41	20	61	120
2	30	22	30	42	15	62	45
3	45	23	40	43	50	63	180
4	20	24	30	44	90	64	30
5	15	25	30	45	15	65	15
6	90	26	45	46	60	66	25
7	180	27	35	47	60	67	1
8	60	28	20	48	150	68	120
9	25	29	1	49	30	69	150
10	15	30	10	50	15	70	120
11	60	31	30	51	1	71	120
12	30	32	20	52	30	72	20
13	20	33	1	53	20	73	30
14	5	34	30	54	300	74	10
15	25	35	10	55	45	75	30
16	10	36	10	56	30	76	60
17	10	37	10	57	90	77	45
18	60	38	20	58	30		
19	30	39	1	59	30		
20	50	40	90	60	30		

Anexo IV – Ficha de instrução de manutenção preventiva

Anexo IV. 1: Ficha de instrução de manutenção preventiva.

LIÇÃO PONTO A PONTO		Limpeza da barra de soldadura da agrupadora L10		
FÁBRICA	Multiflow SA		Nº	C08003M
ÁREA	L10		DATA	09-05-2008
EQUIPA	Manutenção		REALIZADO POR	L. Antunes A.Faria
EQUIPAMENTO	Agrupadora	<input checked="" type="checkbox"/> CONHECIMENTO BÁSICO <input type="checkbox"/> MELHORIA <input type="checkbox"/> RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS		




Fig. 1 - Para se proceder a limpeza da lamina de soldadura, a agrupadora deve estar livre de qualquer embalagem.




Fig. 2 - Retirar a placa de protecção como mostra a figura.




Fig. 3 - É necessário desapertar 2 parafusos com a chave sextavada interior 6, um em cada extremidade da barra.




Fig. 4 - Uma vez desapertados os parafusos deve-se retirar a barra como mostra a figura.




Fig. 5 - Se necessario deve-se alterar a posição da lamina atraves do volante manual para uma limpeza mais eficaz.




Fig. 6 - Não se deve utilizar qualquer produto de limpeza com excepção da agua.




Fig. 7 - Para uma limpeza eficaz devemos utilizar um pano para retirar qualquer vestigio de sugidade.




Fig. 8 - É expressamente proibido o uso de qualquer objecto metalico.




Fig. 9 - É expressamente proibido o uso de qualquer objecto cortante.

Revisto por:	Team Leader:	Aprovado por:
--------------	--------------	---------------

